

DE 2002 000 000

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 14 629.2

Anmeldetag: 02. April 2002

Anmelder/Inhaber: Philips Corporate Intellectual Property GmbH,
Hamburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Organisieren der Topologie eines
Netzwerkes mit einer Vielzahl von Stationen, die
in Cluster gruppiert sind

IPC: H 04 L 12/28

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. März 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Joost



BESCHREIBUNG

Verfahren zum Organisieren der Topologie eines Netzwerkes mit einer Vielzahl von Stationen, die in Cluster gruppiert sind

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Organisieren der Topologie eines Netzwerkes mit einer Vielzahl von Stationen, die in Cluster gruppiert sind, mit den Schritten

10

Bereitstellen eines Systems von Regeln, welche die Anordnung von Stationen in Cluster definieren,

Klassifizieren der Stationen in eine oder mehrere Klassen gemäß den Regeln und Anordnen der Stationen in Cluster aufgrund der Klassifizierung;

15

Erfassen von die Topologie des Netzwerkes beeinflussenden Änderungen; und

Anpassen zumindest der Anordnung der Stationen im Cluster aufgrund der Änderungen unter Beachtung der Regeln.

20 Bei dem Klassifikationsprozess in der drahtlosen Kommunikation handelt es sich um sogenanntes „Unüberwachtes Lernen“. Dies bedeutet, dass keine Referenzobjekte mit bekannter Klassenzugehörigkeit existieren. In diesem Fall wird im allgemeinen vom „Clustering“ von Objekten gesprochen. Die Objekte sind im betrachteten Fall gleichzusetzen mit den Stationen, die Klassen mit Gruppen von Stationen. Das Verfahren soll
25 speziell auf die Clusteringproblematik in der drahtlosen Kommunikation zugeschnitten sein.

Ein Beispiel eines auf Clustern basierenden Netzwerkes ist in Figur 1 gezeigt. In jedem Cluster erzeugt eine Station, der sogenannte zentrale Controller bzw. das Cluster-Center
30 (CC), MAC-Rahmen und weist allen in seinem Cluster befindlichen Endgeräten (WT ; Wireless Terminal, in Figur 1 nicht dargestellt) Übertragungsschlitz zu. Die Cluster

- sind auf der MAC-Ebene mit sogenannten Forwarders oder Forwarding Terminals (FT) verbunden, die sich in den überlappenden Bereichen der Cluster befinden. Jede Station muss einem Cluster zugeordnet werden. Ist dies nicht möglich, weil feste Clustergrenzen überschritten werden, beispielsweise hinsichtlich des geographischen Abstandes
- 5 bzw. des RSS_Wertes (RSS = Received Signal Strength) der Stationen, eröffnen die Stationen selbst ein neues Cluster.

- Bei der clusterbasierten Bürokommunikation handelt es sich regelmäßig um eine sogenannte Echtzeitanwendung, da beim Betrieb eines LAN in der Praxis Kommunikationsverbindungen zwischen den Benutzern aktiv sind, die nicht unterbrochen werden dürfen. Dies bedeutet, dass der Clustering-Algorithmus auf dynamische Merkmalsveränderungen innerhalb kürzester Zeit mit Topologieveränderungen reagieren muss. Aus diesem Grund sind iterative Algorithmen hier kritisch zu beurteilen. Insbesondere kann nicht garantiert werden, wie schnell ein iterativer Algorithmus gegen eine Lösung kon-
- 10 vergiert. Als besser für die Echtzeitanforderungen geeignet erscheinen regelbasierte Verfahren. Mittels einer Regel kann beispielsweise festgelegt werden, welche sofortigen Clusteringmaßnahmen bei Eintreten einer bestimmten Situation getroffen werden sollen.

- 20 Es existieren im allgemeinen verschiedene Gütemaße der Klassifizierung. Als sehr wichtig werden beispielsweise die Anzahl richtig klassifizierter Objekte sowie die Eindeutigkeit der Klassifizierung angesehen. In der Bürokommunikation stellt die Stabilität der Klassifizierung, d.h. die Minimierung von Handovers (HO), das wichtigste Kriterium dar.

- 25 Es ist auch dabei eine möglichst große Homogenität der Objekte innerhalb der Cluster sowie eine möglichst große Heterogenität unterschiedlicher Cluster anzustreben. Unter Homogenität wird, wie allgemein üblich, eine relative Nähe der Objekte im Merkmalraum verstanden.

Eine möglichst große Stabilität der Cluster ist ein weiteres Ziel der Klassifikation. Eine gewisse minimale Stabilität ist deshalb unabdingbar, weil das Netz zusammenbrechen würde, wenn beispielsweise ein neuer CC Handover angestoßen würde, obwohl ein alter CC Handover noch nicht abgeschlossen ist, in den einer der beiden CC verwickelt war.

- 5 Eng mit dieser Anforderung zusammen hängt die Frage nach der Anzahl in einem Zeitschritt vorgenommener Topologieveränderungen. Das Netz kann nur eine gewisse Anzahl gleichzeitiger Topologieveränderungen verkraften, weil ansonsten die Verbindung zu einigen Endgeräten zumindest vorübergehend abreißen würde.
- 10 Es gibt vier verschiedene Typen einer Klassifikation, je nachdem ob die Objekte und/oder die Klassen unscharf definiert sind. Im betrachteten clusterbasierten Netz können die Objekte unscharf definiert werden, d.h. als Merkmale der Objekte würden linguistische Variablen eingeführt werden. Die Klassen sind im betrachteten Fall letztlich scharf definiert, da ein WT (mit Ausnahme der FT) immer nur einem CC gleichzeitig zugeordnet sein kann. Allerdings kann eine unscharfe Zuordnung der WTs zu den Klassen bzw. CCs als zusätzliche Information sinnvoll sein, um beispielsweise Hinweise auf den zeitlichen Verlauf der Zugehörigkeitswerte zu erhalten und Clusterwechsel rechtzeitig einzuleiten.
- 15
- 20 Schließlich handelt es sich bei der Topologie des Netzes um eine dynamisch veränderliche Topologie, so dass Verfahren der dynamischen Clusteranalyse zum Einsatz kommen könnten.

- Aus den geschilderten Umständen ergeben sich die Anforderungen an das auszuwählende Verfahren. Folgende Anforderungen sind absolut unverzichtbar:
- 25

- Das Verfahren muss echtzeitfähig sein.
- Die Cluster müssen eine minimale Stabilität (in der Größenordnung von 500 ms) aufweisen.

- Das Clustering muss in jedem Zeitschritt immer auch die bisherige Clusteraufteilung berücksichtigen und kann nicht plötzlich das gesamte Netz umclustern.
- Das Verfahren muss harte Nebenbedingungen berücksichtigen.
- 5 - Das Verfahren muss alle Objekte in Cluster einordnen.
- Das Verfahren muss ohne Trainingsdatenmenge operieren können.
- Das Verfahren muss Cluster-Center bilden, die reale Objekte darstellen.

Zu den wünschenswerten Eigenschaften des Verfahrens zählen die folgenden:

10

- Das Verfahren sollte dezentral ausführbar sein.
- Das Verfahren sollte die Anzahl der Cluster minimieren.
- Es wäre gut, wenn das Verfahren selbst lernfähig wäre und sich automatisch verbessern sowie auf veränderte Bedingungen reagieren könnte.
- 15 - Die während der Klassifikation vom Verfahren getroffenen Entscheidungen sollten von einem Experten nachvollzogen werden können.
- Umgekehrt wäre es schön, wenn Expertenwissen eines Systemarchitekten in das Verfahren einfließen könnte.

- 20 Die dezentrale Ausführbarkeit des Verfahrens ist dabei an der Grenze zwischen unverzichtbaren und verzichtbaren Eigenschaften angesiedelt. Völlig zentral wird das Verfahren in der Praxis wahrscheinlich nicht ausgeführt werden können, da dies eine große Belastung des Netzes durch den Austausch von Steuerinformationen implizieren würde. Allerdings ist eine gewisse Zentralisierung denkbar in der Hinsicht, dass die Central
- 25 Controller die Entscheidungen über Topologieveränderungen treffen könnten. Es kann jedoch durchaus sinnvoll sein, dass beispielsweise die Entscheidung über Clusterwechsel (WT-HO) völlig selbständig und damit dezentral von den Endgeräten getroffen wird.

Die Problemstellung lässt sich daher auch überführen in ein Entscheidungs- bzw. Kontrollproblem, ob und zu welchem Zeitpunkt derartige Ereignisse von einer Station auszulösen sind.

- 5 Zu den Zielen des Verfahrens sollte sicherlich neben der Minimierung der Topologieveränderungen auch die Minimierung der Anzahl der Cluster zählen, um unnötigen Weiterleitungsverkehr zwischen den Clustern zu vermeiden.

- 10 Angesichts dessen ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Gattung so auszugestalten, dass es auf die Bürokommunikation optimiert ist, andere Anwendungen aber nicht ausschließt. Insbesondere soll ein unüberwachtes dynamisches Fuzzy Clustering stattfinden.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass

- 15 eine Mehrzahl zulässiger Topologieveränderungen des Netzwerks vordefiniert wird;
- wenigstens eine der Eingangsvariablen für die Regeln nach der Fuzzy Logic, dualer Logik oder anderer Logik codiert wird; und
- 20 wenigstens eine der Regeln aus codierten Eingangsvariablen abhängig von den die Topologie des Netzwerks beeinflussenden Änderungen mindestens eine Ausgangsvariable erzeugt;
- 25 wobei jede dieser Ausgangsvariablen eine Entscheidungsvariable für eine vorzunehmende zulässige Topologieveränderung des Netzwerks ist.

Bevorzugt wird die mindestens eine Eingangsvariable fluzzifiziert.

Es wird somit ausgegeben, ob ein CC-, WT- oder FT-Handover durchgeführt, ob ein neues Cluster eröffnet oder ein altes geschlossen und ob ein FT eingerichtet oder aufgelöst wird. Grundlage des Verfahrens ist, dass Anwendungsfälle betrachtet werden, bei denen nicht die Einordnung neu hinzukommender, sondern bereits klassifizierter dynamischer Objekte im Vordergrund steht. In diesem Fall ist die Zugehörigkeit eines Objektes zu einem Cluster bereits aus dem letzten Zeitschritt bekannt. Anstatt das Objekt im nächsten Zeitschritt neu zu klassifizieren, wird nur untersucht, ob an dieser Zuordnung oder an der Clusterstruktur insgesamt eine Veränderung vorzunehmen ist.

10 Da das Netzkonzept eine Überlappung der Cluster und die Einrichtung von entsprechenden FTs erfordert, werden zusätzlich nach einer weiter bevorzugten Ausführungsform der Erfindung die folgenden Topologieveränderungen definiert:

- Erzeugen eines Forwarders;
- 15 - Auflösen eines Forwarders;
- Übergabe der Forwarder-Funktion an eine andere Station.

Die Ausgangsgrößen der Regeln legen bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht die Clusterzugehörigkeiten der Objekte fest, sondern bestimmen, ob eine Topologieveränderung vorgenommen wird oder nicht. Grundlage des Verfahrens ist, dass Anwendungsfälle betrachtet werden, bei denen nicht die Einordnung neu hinzukommender sondern bereits klassifizierter dynamischer Objekte im Vordergrund steht. In diesem Fall ist die Zugehörigkeit eines Objektes zu einem Cluster bereits aus dem letzten Zeitschritt bekannt. Anstatt das Objekt im nächsten Zeitschritt neu zu klassifizieren, wird nur untersucht, ob an dieser Zuordnung oder an der Clusterstruktur insgesamt eine Veränderung vorzunehmen ist.

Besonders bevorzugt ist es, wenn die fuzzifizierte Eingangsvariable eine linguistische Variable ist.

Ebenso bevorzugt ist mindestens eine der Regeln vom Mamdani-Typ. Der Grund ist, dass anhand solcher Regeln Entscheidungen über bestimmte Clusteringereignisse in der Form von „ja/nein“-Entscheidungen getroffen werden, für die sich linguistische Ausgangsgrößen hervorragend eignen.

5

Die Erfindung betrifft auch ein Netzwerk mit einer Vielzahl von Stationen, die in Cluster gruppiert sind, mit

10

einer Speichereinrichtung in mindestens einer der Stationen, in der ein System von Regeln abgelegt ist, welche die Anordnung von Stationen in Cluster definieren,

einer Einrichtung zum Klassifizieren der Stationen in eine oder mehrere Klassen gemäß den Regeln und Anordnen der Stationen in Cluster aufgrund der Klassifizierung;

15

einer Einrichtung zum Erfassen von die Topologie des Netzwerks beeinflussenden Änderungen; und

20

einer Einrichtung zum Anpassen zumindest der Anordnung der Stationen in Cluster aufgrund der Änderungen unter Beachtung der Regeln;

dadurch gekennzeichnet, dass

25

in der Speichereinrichtung eine Mehrzahl zulässiger Topologieveränderungen des Netzwerks gespeichert ist;

eine Einrichtung zum Codieren wenigstens einer der Eingangsvariablen für die Regeln nach der Fuzzy Logic, dualer Logik oder anderer Logik vorgesehen ist,

30

wobei wenigstens eine der Regeln aus codierten Eingangsvariablen abhängig von den die Topologie des Netzwerks beeinflussenden Änderungen mindestens eine Ausgangsvariable erzeugt und jede dieser Ausgangsvariablen eine Entscheidungsvariable für eine vorzunehmende zulässige Topologieveränderung des Netzwerks ist.

Fuzzifizieren der wenigsten einen Eingangsvariablen ist bevorzugt.

Es ist bevorzugt, dass jedes Cluster einen zentralen Controller (CC) aufweist, der eine Station des Netzwerks ist, wobei der Controller zumindest die seine Existenz und/oder Funktion betreffenden Topologieveränderungen selbst ausführt.

Das Netzwerk ist vorteilhaft dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Station als Forwarder vorgesehen ist, das an der Kommunikation zweier Cluster teilnimmt, wobei das Netzwerk als zusätzliche Topologieveränderungen

- Erzeugen eines Forwarders;
- Löschen eines Forwarders;
- Übergabe der Forwarder-Funktion an eine andere Station

zulässt.

Die Erfindung betrifft auch die Verwendung eines zuvor definierten Verfahrens in der klassischen Datenanalyse, wobei die Stationen die Objekte der Datenanalyse sind.

Ein wichtiger Unterschied zum bevorzugten Anwendungsfall besteht darin, dass bei der Datenanalyse die Klassifikation von einem außenstehenden "globalen" Beobachter durchgeführt wird, wohingegen bei der Bürokommunikation die Klassifikation dezentral in den CCs und eventuell sogar den WTs erfolgt.

Des Weiteren ist der Anwendungsfall dadurch gekennzeichnet, dass in dem drahtlosen Netz die Cluster-Center als zentrale Controller immer auch gleichzeitig Objekte bzw.

Stationen darstellen. Im allgemeinen Fall der Datenanalyse hingegen können die CCs virtuelle Punkte im Merkmalraum darstellen.

- Bei der klassischen Datenanalyse bestehen weiterhin im allgemeinen keine Nebenbedingungen hinsichtlich des maximalen Abstandes der Objekte eines Clusters im Merkmalraum. Im clusterbasierten LAN bestehen derartige feste Cluster Grenzen jedoch beispielsweise hinsichtlich des geographischen Abstandes bzw. des RSS-Wertes der Stationen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Zugehörigkeit der Objekte zu einem Cluster lediglich die Werte 0 oder 1 annehmen kann, sondern nur, dass außerhalb der Cluster Grenze zwangsläufig ein Zugehörigkeitswert von 0 gilt.

- Ein besonders wichtiger Unterschied zwischen Datenanalyse und dem Anwendungsbeispiel liegt in den Anforderungen hinsichtlich der maximalen Dauer des Clusteringprozesses. Bei der Datenanalyse steht das Endergebnis einer möglichst optimalen Klassifikation im Vordergrund. Die Dauer des Klassifikationsprozesses, um dieses Ergebnis zu erreichen, spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle.

- Hinsichtlich der Klassenzahl existiert ein weiterer Unterschied zwischen allgemeinem und konkretem Fall. Im allgemeinen ergibt sich die Klassenzahl anhand verschiedener Gütekriterien der Klassifizierung. Unter allen möglichen Klassenzahlen wird diejenige ausgewählt, die die Gütekriterien am besten erfüllt. Im konkreten Fall des clusterbasierten Netzes stellt die Anzahl der Cluster selbst ein Gütekriterium dar, da diese Anzahl zu minimieren ist.

- Der große Vorteil von wissensbasierten bzw. regelbasierten Verfahren ist ihre Echtzeitfähigkeit, die im Rahmen der Fuzzy Control bereits vielfach in der Praxis nachgewiesen werden konnte. Regelbasierte Verfahren erscheinen außerdem flexibel genug, um die Stabilität der Clustereinteilung und eine Begrenzung der Zahl gleichzeitiger Topologieveränderungen garantieren zu können. Ein weiterer Vorteil regelbasierter Verfahren ist

- darin zu sehen, dass harte Nebenbedingungen in Form von Regeln berücksichtigt werden können. Des weiteren können alle Objekte einem Cluster zugeordnet werden, wenn die Regeln entsprechend formuliert werden. Wissensbasierte Verfahren benötigen in der Regel keinen Trainingsdatensatz, wenn die Wissensakquisition beispielsweise
- 5 von einem Experten vorgenommen wird. Schließlich kann mit einem regelbasierten System eine Bildung der CC durch Selektion geeigneter Objekte vorgenommen werden, wie dies im betrachteten Anwendungsfall erforderlich ist. Aufgrund der Komplexität des Anwendungsfalls erscheint es vielversprechend, Expertenwissen in das Verfahren einzubinden, damit das Verfahren in der Lage ist, aus Fehlern der Vergangenheit zu
- 10 lernen bzw. es selbstoptimierende Eigenschaften besitzt. Des weiteren sollte die Entscheidungsfindung des Verfahrens von einem Experten nachvollziehbar sein.

- Traditionelle regelbasierte Klassifizierungs-Verfahren nehmen eine Einordnung jedes einzelnen Objektes in eine oder mehrere Klassen vor. Die Ausgangsvariablen der
- 15 Regeln geben beispielsweise das Cluster an, dem ein Objekt bzw. eine Station zugeordnet wird. Bei einem dynamischen Klassifikationsproblem müsste bei dieser Variante in jedem Zeitschritt überprüft werden, ob das von den Regeln ausgegebene Cluster mit dem Cluster übereinstimmt, dem die Station noch im vorherigen Zeitschritt zugeordnet war. Wenn dies nicht der Fall sein sollte, müsste ein Clusterwechsel eingeleitet werden.
- 20 Ein solches regelbasiertes Verfahren erscheint für den Fall der dynamischen Klassifikation als recht umständlich, da die Objekte zunächst Clustern zugeordnet würden und erst anschließend überprüft würde, ob tatsächlich eine Veränderung der bisherigen Situation vorliegt.

- 25 Sind die Ausgangsvariablen der Regeln unscharfe Zugehörigkeitswerte der Objekte zu den Clustern, könnte ein Clusterwechsel beispielsweise dann eingeleitet werden, wenn der Unterschied zwischen dem Zugehörigkeitswert eines Objektes zu einem (neuen) Cluster und dem Zugehörigkeitswert zum bisherigen Cluster einen bestimmten Wert überschreitet. Auch bei diesem Regeltyp würden die Objekte zunächst Clustern

zugeordnet und erst anschließend könnte überprüft werden, ob ein Clusterwechsel eingeleitet werden sollte.

- Ein weiterer Nachteil klassischer regelbasierter Klassifikationsverfahren ist darin zu sehen, dass die bei der dynamischen Klassifikation erforderliche dynamische Veränderung der Anzahl der Cluster schwierig zu bewerkstelligen ist.

- Die Grundidee des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, anstelle der statischen Clusterzuordnungen der Objekte die dynamischen Topologieveränderungen zu betrachten. Das erfindungsgemäße Verfahren ähnelt damit noch stärker einem Fuzzy-Control-Ansatz als ein traditionelles regelbasiertes Klassifikationsverfahren, da es sich um ein dynamisches Klassifikationsproblem handelt, bei dem einem dynamischen Prozeß Werte entnommen werden, die in den Regeln als Eingangsgrößen Verwendung finden. Die Ausgangsgrößen der Regeln bestimmen die Entscheidung über Topologieveränderungen. Eine Topologieveränderung stellt einen Eingriff in das dynamische System dar, der als Steuerung aufgefaßt werden kann. Es zeigt sich, dass bei der geschilderten Betrachtungsweise das dynamische Klassifikationsproblem als Fuzzy-Control-Problem interpretiert werden kann.

- 20 Nach S. Mann, „Ein Lernverfahren zur Modellierung zeitvarianter Systeme mittels unscharfer Klassifikation“, Dissertation, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, 1983, werden folgende dynamische Veränderungen der Clusterstruktur unterschieden:

- die Bildung neuer Cluster,
- 25 - das Verschmelzen von Clustern,
- die Teilung von Clustern,
- die Auflösung von Clustern und
- die Verschiebung von Clustern.

PHDE020084

- 12 -

Es ist zweckmäßig, eine weitere dynamische Veränderung zu betrachten, die nicht zwangsläufig eine Veränderung der Clusterstruktur nach sich zieht:

- ein Wechsel der Klassenzugehörigkeit eines Objektes.

5

Bei einer unscharfen Zugehörigkeit eines Objektes zu einer oder mehreren Klassen kann dieses Ereignis als das Unter- bzw. Überschreiten eines bestimmten Zugehörigkeitsgrenzwertes interpretiert werden. Die Bildung neuer Cluster und die Teilung von Clustern einerseits sowie das Verschmelzen von Clustern und das Auflösen von

- 10 Clustern andererseits stellen aus technischer Sicht jeweils ähnliche Problemfälle dar. Bei der Bildung neuer Cluster sowie der Teilung von Clustern entsteht jeweils ein neuer CC. In beiden Fällen sollte ein bereits existierender CC die Entscheidung zur Bildung eines neuen CC fällen und ein Terminal dazu auffordern, die CC-Funktion zu übernehmen. Anschließend können WTs in der Umgebung des neuen CC selbständig in das
- 15 neue Cluster wechseln. Bei der Verschmelzung sowie der Auflösung von Clustern gibt jeweils ein bestehender CC die CC-Funktion auf und wird zu einem WT. Die Verschmelzung kann somit zurückgeführt werden auf den Wechsel aller WTs eines Clusters in ein anderes Cluster und die anschließende Auflösung des betreffenden Clusters.

20

Es werden aus diesen Gründen nach einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens die folgenden möglichen Topologieveränderungen unterschieden:

- die Bildung eines neuen Clusters,
- 25 - die Auflösung eines Clusters,
- die Verschiebung eines Clusters und
- der Wechsel der Klassenzugehörigkeit einer Station.

Neben der Frage nach der Art der Wissensrepräsentation stellt sich die Frage nach der Gewinnung dieses Wissens. Im Fall einer regelbasierten Wissensrepräsentation ist damit die Frage gleichzusetzen, wie die Regelbasis aufgebaut werden kann. Es ist diesbezüglich zwischen drei prinzipiellen Klassen von Verfahren zu unterscheiden:

5

■ **Datenbasierte Verfahren:** Bei diesen Verfahren werden die Entscheidungen anhand der Erfahrungen aus der Vergangenheit getroffen. Derartige Verfahren sind somit immer nur so gut, wie die Repräsentativität der Vergangenheitsdaten sowie die Richtigkeit der Entscheidungen in der Vergangenheit es zulassen.

10

■ **Wissensbasierte Verfahren:** In diesem Fall werden die Entscheidungen auf der Basis menschlichen Wissens getroffen. Beispielsweise könnten Regeln durch einen Experten formuliert werden.

15

■ **Modellbasierte Verfahren:** Derartigen Verfahren liegt ein Modell des Prozesses oder zumindest eine Meßbarkeit der zu erreichenden Ziele zugrunde. Es handelt sich um Optimierungsverfahren im weitesten Sinne, da angestrebt wird, die Ziele möglichst optimal zu erfüllen. Ist eine Meßbarkeit der Zielerfüllung gegeben, können Verfahren der künstlichen Intelligenz zum Einsatz kommen, die es ermöglichen, Regeln anhand der erreichten Zielerfüllung zu bewerten und auszuwählen.

20

Für die Erfindung wird ein wissensbasierter Ansatz favorisiert, der weiter unten noch in Einzelheiten beschrieben wird; allerdings ist auch ein modellbasiertes Verfahren denkbar. Beispielhaft wird ein Aufbau der Regelbasis mittels genetischer Algorithmen betrachtet. Dieser modellbasierte Ansatz könnte auch dazu verwendet werden, eine von einem Experten aufgestellte Regelbasis während des Systembetriebs zu verbessern und an dynamische Veränderungen des Systemverhaltens anzupassen.

25

Bei der Entwicklung eines regelbasierten Inferenzsystems ist die Wahl der Ein- und Ausgangsgrößen, der Zugehörigkeitsfunktionen, der Fuzzifikations- und Defuzzifi-

kationsmechanismen, der Regeln sowie der Inferenz- und Aggregationsoperatoren wesentlich.

Im folgenden soll die Erfindung anhand von Beispielen näher erläutert werden. Dabei
5 wird Bezug auf die Zeichnung genommen, wobei

Figur 1 die schematische Darstellung eines auf Clustern basierenden Netzwerkes ist;

Figur 2 ein Beispiel für die Zugehörigkeitsfunktion der Eingangsgrößen ist;

10

Figur 3 ein weiteres Beispiel für die Zugehörigkeitsfunktion von Eingangsgrößen ist;

Figur 4 Fuzzy-Ausgangsgrößen sind, wie sie bei der Ausführungsform der Erfindung
verwendet werden;

15

Figur 5 ein Schaubild für die Fuzzy-Mittelung ist;

Figur 6 eine Veranschaulichung der Mamdani-Inferenz versus Skalierte-Interferenz ist;

20 Figur 7 ein Schaubild für das Center-Of-Sums-Verfahren ist; und

Figur 8 eine Darstellung des Center-Of-Area-Verfahren ist.

Es ist bereits festgestellt worden, dass die wissenbasierten und speziell regelbasierten
25 Klassifikationsverfahren alle zwingenden Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus
haben diese Verfahren aber auch einige wünschenswerte Eigenschaften. Die wichtigste
Eigenschaft betrifft die dezentrale Ausführbarkeit der Verfahren. Es wird weiter unten
gezeigt werden, dass die Regeln für eine dezentrale Entscheidungsfindung genutzt
werden können. Eine wichtige Eigenschaft regelbasierter Verfahren ist außerdem, dass

Regeln i.a. leicht nachvollzogen werden können. Auch läßt sich Expertenwissen in die Regeln einbringen bzw. können die Regeln direkt von einem Experten aufgestellt werden. Schließlich ist es möglich, die Regeln im Verlauf des dynamischen Klassifikationsprozesses automatisch anzupassen und zu verbessern.

5

Im folgenden soll auf ein Netzwerk ähnlich dem, das in Figur 1 dargestellt ist, Bezug genommen werden. Im betrachteten Beispiel werden lediglich für vier der sieben zuvor definierten Topologieveränderungen unscharfe Ausgangsvariablen festgelegt (CC-Creation, CC-Deletion, CC-Handover und WT-Handover). Die drei FT-bezogenen

10 Topologieveränderungen werden mittels eines speziellen Algorithmus gesteuert, der in der Anmeldung „Netzwerk mit mehreren Sub-Netzwerken zur Bestimmung von Brücken-Terminals“ (DE 100 53 854.1) beschrieben ist. Zunächst werden die Eingangsvariablen des Algorithmus bzw. Merkmale der Objekte und Stationen definiert. Bei lokalen Netzwerken kommen u.a. folgende Größen in Frage:

15

- Pegel (RSS-Wert), mit dem der eigene CC empfangen wird, oder
- der Verlauf des RSS-Wertes, mit dem der eigene CC in den letzten Zeitschritten empfangen wurde (Trajektorie),
- RSS-Werte, mit denen Nachbar-CCs empfangen werden (falls andere als der
- 20 eigene CC empfangen werden),
- Empfangsqualität, bzw. PER, mit der der eigene CC empfangen wird,
- Empfangsqualität, bzw. PER, mit der die Nachbar-CCs empfangen werden,
- Verkehrslast des eigenen CC,
- Verkehrslast der Nachbar-CCs,
- 25 - Anzahl WTs im Cluster,
- Durchschnittlicher RSS-Wert einer Station,
- durchschnittlicher RSS-Wert einer Station im Vergleich zu den Nachbarstationen,
- Anzahl direkter Nachbarn einer Station,

- Anzahl direkter Nachbarn einer Station im Vergleich zu den Nachbarstationen,
- Summe des In-Cluster-Verkehrs einer Station,
- Summe des In-Cluster-Verkehrs einer Station im Vergleich zu den Nachbarstationen,
- 5 - Geschwindigkeit einer Station,
- Zeit seit letztem CC-Handover,
- Zeit seit letztem WT-Handover bzw. FT-Handover,
- Änderungsgeschwindigkeit des RSS-Wertes, mit dem der eigene CC empfangen wird,
- 10 - Art der Energieversorgung (Steckdose oder Batterie).

Die getroffene Auswahl impliziert bereits die Einbindung von Expertenwissen und ist eng verknüpft mit den im nächsten Abschnitt gebildeten Regeln. Es soll hier lediglich ein kurzer Hinweis auf den möglichen Nutzen der einzelnen Eingangsgrößen gegeben werden. Im nächsten Abschnitt wird die Bedeutung der Eingangsgrößen im Zusammenhang mit den gebildeten Regeln klarer werden. Der Empfangspegel bzw. RSS-Wert des eigenen CC, die Differenz des RSS-Wertes des eigenen CC und den RSS-Werten der Nachbar-CCs sowie die PER dienen als Kriterien, um über die Clusterzugehörigkeit einer Station zu entscheiden. Die Verkehrslast im eigenen sowie in den Nachbarclustern wird als Eingangsgröße verwendet, um eine Überlastung einzelner Cluster zu vermeiden. Prinzipiell erscheint es zwar sinnvoll, alle Benutzer in ein Cluster zu ziehen, die miteinander in Verbindung stehen, um den Weiterleitungsverkehr zu minimieren. Andererseits sollte ein Cluster aber nicht über eine gewisse Kapazitätsgrenze hinaus belastet werden.

25 Unter dem durchschnittlichen RSS-Wert einer Station ist der Empfangspegelmittelwert aller empfangenen Stationen zu verstehen. Dieser RSS-Wert kann im Vergleich zu den RSS-Werten der Nachbarstationen als Kriterium für eine Clusterverschiebung dienen. Zusätzlich kann die Konnektivität, d.h. die Anzahl direkter Nachbarn, als Eingangs-

größe verwendet werden. Ein weiteres Kriterium für einen Clusterwechsel ist der In-Cluster-Verkehr einer Station mit ihren Nachbarstationen.

5 RSS-Wert, Konnektivität und In-Cluster-Verkehr sind ähnliche Kriterien, wie der bei den graphentheoretischen Verfahren verwendete Grad eines Knotens, da diese Messwerte jeweils eine Summe über Kantenbewertungen zu den direkten Nachbarn darstellen. Diese Summenwerte werden im Rahmen der im folgenden beschriebenen Fuzzifizierung in Zugehörigkeitswerte umgewandelt. Die Reihenfolge von Summation und Fuzzifizierung ist somit hier gegenüber den graphentheoretischen Verfahren ver-
10 tauscht worden, was jedoch bei linearen Operationen keine Rolle spielt.

Eine sehr nützliche Eingangsgröße wäre die Geschwindigkeit einer Station, denn Stationen, die sich mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeit fortbewegen, sind als CC wenig geeignet, da häufige Topologieveränderungen die Folge wären. Leider ist
15 die Geschwindigkeit eines Endgerätes nicht immer als Meßgröße verfügbar. In vielen Fällen lassen sich zumindest Kategorien, beispielsweise „stationär“ versus „mobil“ oder „Stromanschluß“ versus „batteriebetrieben“ aufstellen, denen die Stationen im Vorhinein zugeordnet werden.

20 Mit Hilfe der Eingangsgröße „Zeit seit der letzten Topologieveränderung“ kann den Clustern die erforderliche Stabilität verliehen werden.

Bei einigen dynamischen Klassifikationsverfahren werden Trajektorien der Merkmalsausprägungen verwendet. Ein Beispiel einer Trajektorie ist der als eine mögliche
25 Eingangsgröße aufgezählte „Verlauf des RSS-Wertes“. Wegen des notwendigen Speicheraufwandes und des begrenzten Nutzens im betrachteten Anwendungsfall werden allerdings hier möglichst keine Trajektorien verwendet. Es wird allerdings sinnvoll sein, zumindest eine gleitende Mittelwertbildung der Eingangsgrößen

vorzunehmen, um nicht aufgrund zufälliger Ereignisse oder aufgrund von sehr kurz andauernden Einflüssen Topologieveränderungen vorzunehmen.

Zusammenfassend werden von den zuvor genannten und erläuterten möglichen
5 Eingangsgrößen die folgenden verwendet und als Variablen definiert:

- „Pegel-CC“: Pegel, mit dem der eigene CC empfangen wird.
- „Pegel-Nachbar-CCs“: Pegel des Nachbar-Clusters, das mit dem stärksten Pegel empfangen wird.
- 10 - „Pegel-Nachbar-CC“: Pegel, mit dem ein spezifisches Nachbar-Cluster empfangen wird (welches Cluster gemeint ist, wird bei der Beschreibung der jeweiligen Regel erläutert).
- „Pegeldifferenz“: Differenz zwischen dem maximalen Pegel eines Nachbar-CC und dem Pegel des bisherigen CC.
- 15 - „PER-CC“: PER, mit der der eigene CC empfangen wird.
- „PER-Nachbar-CCs“: PER des Nachbar-Clusters, das mit der kleinsten PER empfangen wird.
- „PER-Nachbar-CC“: PER, mit der ein spezifisches Nachbar-Cluster empfangen wird (welches Cluster gemeint ist, wird bei der Beschreibung der jeweiligen Regel
20 erläutert).
- „Verkehr-CC“: Verkehr im eigenen Cluster. Alle Verkehrswerte, die bei der Entscheidung über Clustererzeugung und -auflösung verwendet werden, sind gleitende Mittelwerte, um kurzfristige Schwankungen zu eliminieren.
- „Verkehr-Nachbar-CCs“: Verkehr des Nachbar-Clusters mit kleinstem
25 Verkehrsaufkommen.
- „Verkehr-Nachbar-CC“: Verkehr eines spezifischen Nachbar-Clusters (welches Cluster gemeint ist, wird bei der Beschreibung der jeweiligen Regel erläutert).
- „Geschwindigkeit-CC“: Geschwindigkeit des bisherigen CC.

- „Geschwindigkeit-CC-Kandidaten“: Geschwindigkeit des langsamsten CC-Kandidaten.
- „Geschwindigkeit-CC-Kandidat“: Geschwindigkeit eines spezifischen CC-Kandidaten (welcher CC-Kandidat gemeint ist, wird bei der Beschreibung der jeweiligen Regel erläutert).
- „Anzahl-WTs“: Die Anzahl der in einem Cluster assoziierten WTs, formuliert als scharfe Variable.
- „WTs-versorgt“: Diese Eingangsgröße ist eine scharfe Variable, die den Wert 0 oder 1 annehmen kann. Der Wert 1 wird angenommen, wenn alle WTs eines Clusters durch einen anderen CC ausreichend versorgt werden könnten. Der Wert 0 wird angenommen, wenn auch nur ein einziges WT nicht ausreichend versorgt wäre. Unter ausreichender Versorgung wird verstanden, dass der Empfangspegel, mit dem der neue CC empfangen wird, einen bestimmten Minimalwert überschreitet, und dass der neue CC auch von der Verkehrslast her in der Lage ist, das WT aufzunehmen. Letzteres bedeutet, dass die Verkehrslast im Cluster des neuen CC auch nach der Aufnahme des WT unter einem bestimmten Wert liegen muss (siehe Abschnitt \ref{subsec:verfahren:wissensbasierterregelbasis}}).
- „WT-versorgt“: Diese Eingangsgröße ist wie die Variable „WTs-versorgt“ eine scharfe Variable, die den Wert 0 oder 1 annehmen kann. Sie unterscheidet sich von dieser lediglich dadurch, dass sie nur die Versorgung eines einzigen, bestimmten WTs durch ein Cluster abprüft.
- „RSS-Mittelwert-Differenz“: Differenz zwischen dem maximalen durchschnittlichen RSS-Wert eines CC-Kandidaten und dem durchschnittlichen RSS-Wert des bisherigen CC.
- „In-Cluster-Verkehrsdifferenz“: Differenz zwischen dem In-Cluster-Verkehr eines CC-Kandidaten und dem In-Cluster-Verkehr des bisherigen CC.
- „Konnektivitätsdifferenz“: Differenz zwischen der Konnektivität des CC-Kandidaten und der Konnektivität des bisherigen CC.
- „Zeit-seit-CC-Handover“: Zeit seit dem letzten CC-Handover.

- „Pegel-CC-Kandidat“: Pegel, mit dem der bisherige CC den CC-Kandidaten empfängt.
- „Pegel-CC-Kandidat-zu-Nachbar-CCs“: Pegel des Nachbar-Clusters, das der CC-Kandidat mit dem stärksten Pegel empfängt.

5

Die meisten Eingangsvariablen werden vorzugsweise als linguistische Variablen definiert.

Die Ausgangsvariablen stellen Entscheidungsvariablen dar, die Werte von der Art „ja/nein/vielleicht“ annehmen können. Entsprechend der zuvor identifizierten Topologieveränderungen ergeben sich folgende Ausgangsgrößen:

10

- „Bildung eines neuen Clusters“ (ja/nein/vielleicht),
- „Auflösung eines Clusters“ (ja/nein/vielleicht),
- „Verschiebung eines Clusters“ (ja/nein/vielleicht),
- 15 - „Clusterwechsel eines Objektes“ (ja/nein/vielleicht),
- „Bildung eines neuen FT“ (ja/nein/vielleicht),
- „Auflösung eines FT“ (ja/nein/vielleicht),
- „Verschiebung eines FT“ (ja/nein/vielleicht).

20 Für jede der sieben möglichen Topologieveränderungen muss eine Signalisierungsprozedur festgelegt werden. Die Signalisierungsprozeduren werden im folgenden synonym mit den Topologieveränderungen verwendet:

- „CC-Creation“ ,
- „CC-Deletion“ ,
- 25 - „CC-Handover“ ,
- „WT-Handover“ ,
- „FT-Creation“ ,
- „FT-Deletion“ ,
- „FT-Handover“ .

- Der WT-Handover ist im HIPERLAN/2-Standard vorhanden, und die CC-Handover Prozedur wurde bereits in den Standard eingebracht, wie beispielsweise in J. Habetha,
- 5 A. Hettich, J. Petz und Y. Du, „Central controller handover procedure for ETSI-BRAN HIPERLAN/2 ad hoc networks and clustering with quality of service guarantees“, IEEE Annual Workshop on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MobiHOC), Seiten 131-132, August 2000, beschrieben. Es sind weitere Ausgangsgrößen denkbar, die beispielsweise die Ursache des Klassifikationseingriffs festhalten könnten:
- 10 - „CC-Creation-Ursache-Pegel?“ (ja/nein/vielleicht),
 - „CC-Creation-Ursache-Verkehr?“ (ja/nein/vielleicht),
 - „CC-Deletion-Ursache-Anzahl-WT?“ (ja/nein/vielleicht),
 - „CC-Deletion-Ursache-Verkehr“ (ja/nein/vielleicht),
 - „CC-Handover-Ursache-RSS?“ (ja/nein/vielleicht),
 15 - „CC-Handover-Ursache-In-Cluster-Verkehr?“ (ja/nein/vielleicht),
 - „CC-Handover-Ursache-Konnektivität?“ (ja/nein/vielleicht),
 - „CC-Handover-Ursache-Geschwindigkeit?“ (ja/nein/vielleicht),
 - „WT-Handover-Ursache-Pegel“ (ja/nein/vielleicht),
 - „WT-Handover-Ursache-PER“ (ja/nein/vielleicht),
 20 - „WT-Handover-Ursache-Pegeldifferenz“ (ja/nein/vielleicht),
 - „WT-Handover-Ursache-Verkehr“ (ja/nein/vielleicht),
 - „UNABDINGBAR?“ (ja/nein/vielleicht).

- Die letzte der aufgelisteten Ausgangsvariablen hält fest, ob der Clusteringeingriff
- 25 unabdingbar war oder nicht.

Für eine Fuzzifizierung der Eingangsvariablen wird zur Vereinfachung für alle Eingangsvariablen eine einheitliche Anzahl von fünf linguistischen Termen gewählt. Diese Terme lassen sich allgemein formulieren als:

	B:	Big
	MB:	Medium Big
	M:	Medium
5	MS:	Medium Small
	S:	Small

Figur 2 zeigt eine mögliche Wahl der Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Terme im Intervall $[0,1]$.

10

Figur 3 zeigt eine alternativ mögliche Wahl der Zugehörigkeitsfunktionen. Diese hätte den Vorteil, dass in den Regeln der Regelbasis beispielsweise der Term „Medium Big“ verwendet werden könnte, um auszudrücken, dass ein Wert „Medium Big oder größer“ erwartet wird. Dies ist deshalb möglich, weil die Zugehörigkeitsfunktion des Terms „Medium Big“ im gesamten Definitionsbereich oberhalb ihrer Knickstelle den Wert 1 annimmt. Bis auf den Term „Medium“ sind alle anderen Terme somit vielmehr als „Big oder größer“, „Medium Big oder größer“, „Medium Small oder kleiner“ und „Small oder kleiner“ zu interpretieren.

15

- 20 Im folgenden wird jedoch eine Wahl der Zugehörigkeitsfunktionen gemäß Figur 2 unterstellt. Dies hat zur Folge, dass beispielsweise der Ausdruck („Medium Big“ ODER „Big“) verwendet werden muss, um einen Wert „Medium Big oder größer“ auszudrücken. Als ODER-Verknüpfung wird dabei die arithmetische Summe der Zugehörigkeitsfunktionen gewählt. Auf diese Weise wird erreicht, dass der Term („Medium Big“ ODER „Big“) ebenfalls für alle Werte oberhalb der Knickstelle der Funktion „Medium Big“ einen Zugehörigkeitswert von 1 annimmt. Es soll hier der Einfachheit halber zunächst davon ausgegangen werden, dass für alle Eingangsvariablen im normierten Intervall $[0,1]$ dieselben Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Terme verwendet werden.
- 25

- Bei der Normierung der Zugehörigkeitsfunktionen tritt das Problem auf, wie nicht begrenzte Definitionsbereiche der Basisvariablen auf das Intervall $[0,1]$ abgebildet werden können. Eine Lösungsmöglichkeit besteht darin, den Definitionsbereich der Basisvariablen durch hinreichend große Werte zu beschränken. Eine Möglichkeit ist die
- 5 Verwendung des tanh als Normierungsoperator. Der tanh bildet die gesamten reellen Zahlen auf das Intervall $(-1,1)$ ab. Aus Gründen der Recheneffizienz wird hier folgende Form der Normierung von Variablen mit unendlichem Wertebereich vorgenommen:

10
$$x_{norm} = 1 - \frac{1}{1 + \alpha x} \quad (1)$$

- Der skalare Faktor α wurde für jede spezifische Variable geeignet gewählt. Die betroffenen Variablen sind alle PER-bezogenen, Geschwindigkeits-bezogenen, Mengen-bezogenen sowie Zeit-bezogenen Eingangsgrößen. Für die Empfangspegel-bezogenen
- 15 Eingangsvariablen („Pegel-CC“, „Pegel-Nachbar-CCs“ und „Pegel-Nachbar-CC“) wurde eine andere Art der Normierung gewählt, da im HIPERLAN/2-Standard bereits eine Normierung der Pegelwerte auf die sogenannte Service Level Number (SLN) vorgenommen wird.
- 20 Im HIPERLAN/2-Standard ist vorgesehen, dass die WTs ihrem CC die Empfangspegel aller empfangenen CCs melden. Zu diesem Zweck müssen die Pegel als Bitfolgen kodiert werden. Es sind 6 bit für die Übertragung der Pegel festgelegt worden. Es stehen somit 64 Stufen (von 0 bis 63) zur Kodierung des Pegels zur Verfügung. Der Pegel wird gemäß Standard in dBm gemessen. Es wird eine sog. Sensitivität der Endgeräte von -85
- 25 dBm gefordert. Die Sensitivität bezeichnet den minimalen Empfangspegel, bei dem ein Gerät ankommende PDUs gerade noch detektieren kann. Die Kodierung der Empfangspegel beginnt etwas unterhalb der Sensitivitätsgrenze bei -91 dBm. Dieser Pegel wird als SLN=0 festgelegt (und somit als Bitfolge 000000 übertragen). Oberhalb von -91

- dBm werden die Pegel bis -40 dBm in 1 dBm-Schritten kodiert, d.h. ein Pegel von -40 dBm entspricht SLN=51 (bzw. Bitfolge 110011). Von -40 dBm bis -20 dBm werden die Pegel in 2 dBm-Schritten kodiert, d.h. Signalstufe SLN=61 entspricht einem Pegel von -20 dBm. Signalstufe SLN=62 kennzeichnet alle Pegel > -20 dBm. Signalstufe SLN=63 ist für zukünftige Zwecke reserviert.

- Die Kodierung des Empfangspegels im HIPERLAN/2-Standard verdeutlicht, wie eine Normierung für diese Eingangsgröße der Regelbasis vorgenommen werden kann. Es müsste lediglich eine Division durch 62 vorgenommen werden, um die kodierten Werte der Basisvariablen auf das Intervall [0,1] zu normieren. Die dargestellte Abbildungs- bzw. Normierungsvorschrift des Pegels soll im folgenden verwendet werden.

- Eine weitere Pegel-bezogene Eingangsgröße ist die „Pegeldifferenz“. Bei der verwendeten Kodierung des Pegels (in Form dimensionsloser SLNs) ist es offensichtlich, dass die „Pegeldifferenz“ Werte von -62 bis 62 annehmen kann. Die Normierungsvorschrift der Pegeldifferenz lautet somit:

$$x_{\text{Pegeldifferenz}}^{\text{norm}} = \frac{x_{\text{Pegeldifferenz}}}{124} + 0.5 \quad (2)$$

- Als Maß für die Empfangsqualität wurde im vorherigen Abschnitt die PER festgesetzt. Es werden drei PER-bezogene Eingangsgrößen verwendet („PER-CC“, „PER-Nachbar-CCs“ und „PER-Nachbar-CC“). Die PER nimmt Werte zwischen 0 und 1 an. Allerdings ist dennoch eine Umformung der PER sinnvoll, da interessante Werte der PER im unteren Bereich zwischen 0.001 und 0.1 des Definitionsbereiches liegen. Beispielsweise wird eine PER von einem Prozent, d.h. 0.01, als akzeptabel angesehen. Es wird daher hier folgende Normierung der PER vorgeschlagen:

$$x_{\text{PER}}^{\text{norm}} = \frac{1 - e^{-10x_{\text{PER}}}}{1 - e^{-10}} \quad (3)$$

Durch die Umformung bleibt der Wertebereich bei $[0,1]$, allerdings ergibt beispielsweise eine PER von 0.1 einen normierten Wert von 0.63 und wird somit, wie gewünscht, in den mittleren Bereich des Intervalls „verschoben“.

5

Für die Eingangsgrößen „Verkehr-CC“, „Verkehr-Nachbar-CCs“ und „Verkehr-Nachbar-CC“ wird als Basisgröße die Verkehrslast verwendet, die zwischen 0 und 1 bzw. 0 und 100 % der Kapazität eines Clusters liegt. Die Verkehrslast bemisst die relative Auslastung eines MAC-Rahmens. Eine Normierung der Verkehrslast ist nicht
10 notwendig.

Die nächste Gruppe von Eingangsgrößen („Geschwindigkeit-CC“, „Geschwindigkeit-CC-Kandidaten“ und „Geschwindigkeit-CC-Kandidat“) ist über der Basisvariablen „Geschwindigkeit“ definiert. Es ist stark vom betrachteten Szenario abhängig, in
15 welchem Wertebereich sich die Geschwindigkeit der Stationen bewegen kann. Beispielsweise sind in einem Freiraumszenario Fahrzeuggeschwindigkeiten von über 100 km/h möglich. Da in dieser Arbeit ein Netzkonzzept zur Verbesserung der Bürokom-
munikation entwickelt wird, kann von einem Innenraumszenario ausgegangen werden, in dem Fußgängergeschwindigkeiten vorausgesetzt werden können. Als maximale Ge-
20 schwindigkeit wird ein Wert von 2 m/s angenommen. Falls doch einmal eine größere Geschwindigkeit auftreten sollte, könnte diese auf den Wert 2 m/s abgebildet werden. Da die Bewertung, ob eine Geschwindigkeit als klein, mittel, groß, etc. einzustufen ist, in dem Intervall 0,2 m/s intuitiv recht gleichmäßig vorzunehmen ist, wird eine lineare Normierung mittels Division durch den Maximalwert von 2 m/s vorgenommen.

20

25

Eine weitere linguistische Eingangsvariable ist die „Anzahl-WTs“. Eine Anzahl von 10 WTs in einem Cluster wird als groß eingestuft. Aus diesem Grund werden alle Zahlen größer 10 auf den Wert 10 abgebildet (bzw. erhalten den Zugehörigkeitswert 1

zum Term „Big“). Anschließend werden alle Werte mittels einer Division durch den Wert 10 auf das Intervall $[0,1]$ normiert.

Die Eingangsvariable „RSS-Mittelwert-Differenz“ ist auf den RSS-Wert bzw. Pegel bezogen. Insofern wird dieselbe Kodierung des RSS-Wertes durch Werte zwischen 0 und 62 vorausgesetzt. Bei der betrachteten Eingangsvariablen handelt es sich um die Differenz des maximalen durchschnittlichen RSS-Wertes aller Nachbarstationen und dem durchschnittlichen RSS-Wert der betrachteten Station. Ähnlich wie bei der Pegel-differenz-Variablen können somit Werte der RSS-Mittelwert-Differenz zwischen -62 und 62 auftreten. Es wird daher die gleiche Normierungsvorschrift wie in Gleichung (2) verwendet.

Die „Summenverkehrsdifferenz“ stellt die Differenz zwischen dem maximalen Verkehr aller Nachbarstationen und dem Verkehr der betrachteten Station dar. Es liegt nahe, den Verkehr entweder mittels der Summendatenrate aller Verbindungen einer Station (d.h. der Brutto-Bitrate) auf der physikalischen Schicht) oder der sog. Symbolrate (Baudrate) auf der physikalischen Schicht) zu messen. Die Symbolrate kennzeichnet die eigentliche Belegung von Übertragungskapazität. Je nach verwendetem Modulationsverfahren können nämlich bei gleicher Datenrate unterschiedliche Symbolraten resultieren. Die Wahl des Modulationsverfahrens geschieht beispielsweise im HIPERLAN/2-System adaptiv in Abhängigkeit von der Verbindungsqualität. Dabei werden bei guter Empfangssituation sog. höherwertige Modulationsverfahren verwendet, die bei gleicher Datenrate eine niedrigere Symbolrate und damit Kapazitätsbelegung mit sich bringen. Es erscheint sinnvoll, bei gleicher Summendatenrate, diejenige Station als CC zu bevorzugen, die den besseren „RSS-Mittelwert-Differenz“ Wert aufweist, d.h. räumlich besser positioniert ist. Diejenige der beiden Stationen, die sich durch die höhere „RSS-Mittelwert-Differenz“ auszeichnet, wird aufgrund der durchschnittlich besseren Empfangsbedingungen wahrscheinlich die höherwertigeren Modulationsverfahren verwenden und daher eine niedrigere Gesamtsymbolrate auf-

- weisen. Würde die Symbolrate als Basisvariable gewählt, würde die Station mit der höchsten Symbolrate zum CC, d.h. dass bei gleicher Datenrate die Station mit den schlechteren Empfangsbedingungen ausgewählt würde. Dies erscheint nicht sinnvoll. Aus diesem Grund wird die Brutto-Datenrate und nicht die Symbolrate als Basis-
- 5 variable gewählt. Im HIPERLAN/2-System ist bei Verwendung des höchstwertigen Modulationsverfahrens eine maximale Brutto-Datenrate von 54 Mbit/s möglich. Der Begriff Brutto soll verdeutlichen, dass es sich bei den Daten nicht nur um Nutzdaten handelt, sondern auch Kodier- und Steuerinformationen eingerechnet sind. Die „Summenverkehrsdifferenz“ kann somit Werte zwischen 0 und 54 Mbit/s annehmen.
- 10 Eine lineare Normierung würde eine Division aller Werte der Basisvariablen durch 54 Mbit/s bedeuten. Da jedoch bereits ein Unterschied von etwa 10 Mbit/s als „Big“ einzustufen ist, soll folgende Normierung verwendet werden:

$$x_{\text{vark}}^{\text{norm}} = \frac{1 - e^{-10 \frac{x_{\text{vark}}}{54 \text{ Mbit/s}}}}{1 - e^{-10}} \quad (4)$$

- 15 Als letzte Eingangsvariable ist „Zeit-seit-CC-HO“ zu analysieren. Diesbezüglich ist darauf zu achten, dass mindestens etwa 500 ms seit dem letzten CC-Handover vergangen sein müssen. Wie im nächsten Abschnitt im Rahmen des Aufbaus der Regelbasis deutlich werden wird, bedeutet dies, dass die untere Grenze der stützenden
- 20 Menge des Fuzzy-Sets „Big“ oberhalb von 500 ms liegen muss. Eine weitere Anforderung ist, dass die Normierung das nach oben offene Intervall der Zeit seit dem letzten CC-Handover

- auf das Intervall $[0,1]$ abbilden muss. Diese Anforderungen lassen sich ebenfalls durch
- 25 eine Normierung mittels einer Exponentialfunktion erfüllen:

$$x_{\text{zeit}}^{\text{norm}} = 1 - e^{-\frac{x_{\text{zeit}}}{1s}} \quad (5)$$

Die Zugehörigkeitsfunktionen können für jede linguistische Variable auch getrennt über ihrer Basisvariablen definiert werden. Auf diese Weise kann die Form der Funktionen jeweils spezifisch gewählt bzw. optimiert werden. Die Zugehörigkeits-

5 funktionen können in diesem Fall entweder in der normierten Form im Intervall $[0,1]$ oder in nicht normierter Form direkt über der jeweiligen Basisvariablen definiert werden. Normierung und Denormierung würden bei der zweiten Variante entfallen. Die endgültige Lage der Knick- und Nullstellen der Zugehörigkeitsfunktionen der einzelnen Eingangsvariablen könnte erst mittels Simulationsläufen optimiert werden.

10 Da somit nicht bewiesen werden kann, ob das Verschieben einer Nullstelle bzw. eines Knickpunktes der Zugehörigkeitsfunktion bei einer spezifischen Variablen vorteilhaft wäre, wurde auf eine separate Aufstellung der Zugehörigkeitsfunktionen für jede einzelne Variable verzichtet. Durch die jeweilig gewählte Normierung wurde stattdessen lediglich sichergestellt, dass die Einteilung der Werte in die linguistischen

15 Terme gemäß Figur 2 oder Figur 3 bezüglich jeder einzelnen Basisvariablen dem intuitiven Verständnis entspricht.

Wie zuvor diskutiert, werden Regeln vom Mamdani-Typ gewählt. Die Ausgangsgrößen der Regeln sind somit linguistische Variablen. Diese stellen Entscheidungs-

20 variablen dar, für die die linguistischen Werte „nein“, „vielleicht“ und „ja“ gewählt werden.

Figur 4 zeigt die für alle Ausgangsgrößen einheitlichen Zugehörigkeitsfunktionen. Eine Überlappung der Zugehörigkeitsfunktionen ist im Gegensatz zu den Eingangsgrößen nicht notwendig, da bei Ausgangsgrößen der Wert der Basisvariablen nicht

25 gegeben, sondern mittels Defuzzifizierung der Zugehörigkeitsfunktionen gewonnen wird. Es ist somit nicht notwendig, dass alle Werte der Basisgröße durch eine Zugehörigkeitsfunktion abgedeckt werden.

Im folgenden sollen die Regeln wissensbasiert, d.h. auf der Basis von Expertenwissen formuliert werden. Anschließend werden auch Verfahren zur automatischen Regelgenerierung diskutiert.

- 5 Da die verschiedenen möglichen Topologieveränderungen weitgehend unabhängig voneinander sind und um eine dezentrale Anwendung der Regeln zu ermöglichen, wird für die Regeln eine Form mit einer einzigen Ausgangsvariablen gewählt (engl. Multiple Input Single Output (MISO)). Auf diese Weise ist es möglich, dass einige Regeln in den CCs und andere in den WTs gespeichert und angewendet werden
10 können. Wie zuvor erwähnt, werden keine FT-bezogenen Regeln formuliert.

- Die bei dynamischen Clustering-Verfahren übliche Überwachungsphase und die Anpassungsphase werden bei Anwendung der Regeln in einem Schritt durchgeführt. Mittels der linken Seiten der Regeln wird gewissermaßen eine Überwachung bewerkstelligt. Die Detektion einer Veränderung entspricht der Erfüllung der linken Seite
15 einer Regel, deren rechte Seite eine Veränderung nach sich zieht. Immer wenn die Voraussetzungen einer Regel zutreffen, zieht die zugehörige Regel. Nicht jede Regel impliziert jedoch eine Anpassung bzw. Topologieveränderung. Dies liegt daran, dass auch der Fall, dass keine Anpassung notwendig ist, von den Regeln abgedeckt werden
20 muss.

- Im folgenden werden für den betrachteten Anwendungsfall des lokalen Netzwerks Regeln bezüglich der vier verschiedenen Clusteringmaßnahmen (CC-Creation, CC-Deletion, CC-Handover und WT-Handover) entwickelt und jeweils einzeln erläutert.
25 Für CCs wird eine andere Regelbasis als für WTs definiert, da diese unterschiedliche Entscheidungen zu treffen haben.

Beispiel 1

Es soll mit der CC-Regelbasis und speziell den Regeln zur Bildung eines zusätzlichen
5 CC begonnen werden:

1. WENN Verkehr-CC = „Big“ UND Verkehr-Nachbar-CCs = „Big“ UND
Geschwindigkeit-CC-Kandidaten = „Small“
DANN CC-Creation = „ja“ UND UNABDINGBAR = „nein“ UND CC-
10 Creation-Ursache-Verkehr = „ja“.
Diese Regel sieht vor, dass ein neuer CC gebildet werden sollte, wenn sowohl
das eigene als auch die Nachbarcluster an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen.
Voraussetzung ist hier, dass ein geeignetes WT, das sich mit geringer
Geschwindigkeit fortbewegt, zu einem CC gemacht werden kann. Alle
15 Geschwindigkeits-bezogenen Voraussetzungen sind als optional anzusehen und
werden beispielsweise bei einer Leistungsbewertung des Verfahrens nicht
verwendet. Die Bildung eines neuen CC wird nicht als unabdingbar angesehen,
da es sich um eine präventive Maßnahme zur Vermeidung von
Kapazitätsüberlastungen handelt.
20
2. WENN Verkehr-CC = NOT „Big“ DANN CC-Creation = „nein“.
Diese Regel ist das Gegenstück zur vorherigen Regel. Wenn die
Verkehrsbelastung innerhalb eines Clusters noch nicht groß ist, ist die Bildung
eines zusätzlichen Clusters nicht notwendig.
25
3. WENN Verkehr-Nachbar-CCs = NOT „Big“ DANN CC-Creation = „nein“.
Diese Regel beschreibt eine weitere Situation, in der die erste Regel nicht zur
Anwendung kommt. Wenn die Verkehrsbelastung innerhalb der Nachbarcluster
nicht groß ist, sollte ebenfalls kein neues Cluster eröffnet werden. Zu beachten

ist, dass im Rahmen der WT-Handover bezogenen Regeln eine Regel vorgestellt werden wird, die im Fall, dass Verkehr-Nachbar-CCs = „Small“ gilt, bei Erfüllung bestimmter anderer Voraussetzungen einen WT-Handover fordern wird,

5

4. WENN Geschwindigkeit-CC-Kandidaten = NOT „Small“ DANN CC-Creation = „nein“.

Wenn alle CC-Kandidaten sich mit einer Geschwindigkeit von wenigstens „Medium Small“ fortbewegen, sollte kein neues Cluster eröffnet werden. Diese Regel stellt das letzte Gegenbeispiel zur ersten Regel dar und kann (optional) von allen CCs gespeichert und angewendet werden.

10

Beispiel 2

- 15 Die folgenden Regeln könnten hinsichtlich der Auflösung eines Clusters aufgestellt werden:

1. WENN Verkehr-CC = „Small“ UND Verkehr-Nachbar-CCs = „Small“ UND Anzahl-WTs = „Small“ UND „WTs-versorgt“

20 DANN CC-Deletion = „ja“ UND CC-Deletion-Ursache-Anzahl-WT = „ja“.

Wenn ein CC nur einen kleinen Verkehr zu tragen hat und insbesondere nur eine sehr kleine Anzahl WTs und FTs assoziiert sind, kann der CC das Cluster auflösen. Voraussetzung ist allerdings, dass auch die Nachbar-Cluster nur eine kleine Verkehrsbelastung haben und dass alle assoziierten WTs nach

25 Ankündigung aber vor Durchführung der Auflösung in ein mit ausreichendem Pegel empfangenes Nachbarcluster wechseln können. Ausreichend könnte beispielsweise bedeuten, dass ein betroffenes WT den anderen CC mindestens mit dem oberen Grenzpegel der Zugehörigkeitsfunktion des linguistischen Terms „Pegel = Medium“ empfängt. Die Bedingung „WTs-versorgt“ ist ein

Beispiel dafür, wie eine scharfe Bedingung in die unscharfen Regeln eingebaut werden kann. „WTs-versorgt“ stellt eine binäre Variable dar, die den Wert 1 annimmt, wenn der Grenzpegel für den Empfang des neuen CC bei allen betroffenen WTs überschritten wird und wenn gleichzeitig der neue CC auch von der Verkehrsbelastung her in der Lage ist, das WT aufzunehmen. Letztere Bedingung läßt sich so formulieren, dass die Verkehrslast im betroffenen Cluster durch die Aufnahme des WT nicht über einen bestimmten Wert steigen darf. „WTs-versorgt“ nimmt den Wert 0 an, sobald diese Bedingungen für ein einziges WT verletzt sind.

10

2. WENN Verkehr-CC = NOT „Small“ DANN CC-Deletion = „nein“.
Dies ist das erste Gegenstück zur vorangegangenen Regel.

15

3. WENN Verkehr-Nachbar-CCs = NOT „Small“ DANN CC-Deletion = „nein“.
Diese Regel ist das zweite Gegenstück zur ersten CC-Deletion-Regel.

4. WENN Anzahl-WTs = NOT „Small“ DANN CC-Deletion = „nein“.
Die Regel ist das dritte Gegenstück zu obiger Cluster-Auflösungsregel.

20

5. WENN NOT „WTs-versorgt“ DANN CC-Deletion = „nein“.
Können nicht alle WTs in ein anderes Cluster übergeben werden, sollte der CC sein Cluster nicht auflösen.

25

Beispiel 3

Es werden nun Regeln bezüglich der Clusterverschiebung bzw. des CC-Handovers aufgestellt. Die Regeln werden von allen CCs ausgeführt:

5

1. WENN RSS-Mittelwert-Differenz = „Big“ UND Zeit-seit-CC-Handover = „Big“ UND Geschwindigkeit-CC-Kandidat = „Small“ UND Pegel-CC-Kandidat = „MEDIUM BIG“ OR „BIG“

10

DANN CC-Handover = „ja“ UND UNABDINGBAR = „nein“ UND CC-Handover-Ursache-RSS = „ja“.

15

Wenn die Differenz zwischen dem durchschnittlichen RSS-Wert des CC-Kandidaten, der den maximalen durchschnittlichen RSS-Wert aufweist, und dem durchschnittlichen RSS-Wert des aktuellen CC groß ist, kann ein CC-Handover sinnvoll sein. Voraussetzung ist allerdings, dass der letzte CC-Handover schon vor einiger Zeit durchgeführt worden ist. Durch die Zeitschranke „Zeit-seit-CC-Handover = Big“ wird den Clustern die gewünschte Stabilität verliehen. Die Zugehörigkeitsfunktion muss so definiert sein, dass unterhalb einer zu wählenden Zeitschranke ein Zugehörigkeitswert von 0 gilt. Auf diese Weise kann (in Verbindung mit der Verwendung des

20 Minimum-Operators zur Verknüpfung der Voraussetzungen) eine minimale Stabilität erreicht werden. Als weitere (optionale) Voraussetzung eines CC-Handover wird hier gefordert, dass die Geschwindigkeit des CC-Kandidaten klein ist. Schließlich wird vorausgesetzt, dass der alte CC den CC-Kandidaten mit mittlerem oder hohem Pegel empfängt. Diese Bedingung hat sich bei

25 Simulationsläufen als nützlich erwiesen, um zu vermeiden, dass ein CC-Handover zu einem sehr weit entfernten Terminal eingeleitet wird, in dessen Folge andere Stationen des Clusters nicht mehr versorgt sind. Der resultierende CC-Handover wird nicht als unabdingbar eingestuft.

2. WENN RSS-Mittelwert-Differenz = „Big“ UND Zeit-seit-CC-Handover = „Big“ UND Geschwindigkeit-CC-Kandidat = „Small“ UND Pegel-CC-Kandidat-zu-Nachbar-CCs = „SMALL“
DANN CC-Handover = „ja“ UND UNABDINGBAR = „nein“ UND CC-Handover-Ursache-RSS = „ja“.
- 5 Dies ist eine weitere Regel zur Auslösung eines RSS-Mittelwert-basierten CC-Handover. Der einzige Unterschied zu der vorhergehenden Regel liegt in der letzten Voraussetzung. Anstelle einer kurzen Distanz zwischen altem CC und CC-Kandidat wird hier gefordert, dass der CC-Kandidat sich nicht in der Nähe
- 10 von anderen CCs befindet. Diese Bedingung soll verhindern, dass sich Häufungen von CCs ergeben.
3. WENN RSS-Mittelwert-Differenz = NOT „Big“
DANN CC-Handover = „nein“.
- 15 Diese Regel ist das erste Gegenstück zu den beiden vorhergehenden Regeln 1 und 2.
4. WENN Zeit-seit-CC-Handover = NOT „Big“
DANN CC-Handover = „nein“.
- 20 Wenn der letzte CC-Handover nicht vor langer Zeit durchgeführt worden ist, sollte kein erneuter CC-Handover durchgeführt werden. Bei dieser Regel ist es wichtig, zu erzwingen, dass unterhalb der festgelegten Zeitschranke kein CC-Handover durchgeführt wird. Wenn
- 25
$$\mu(\text{NOT "Big"}) = 1 - \mu(\text{"Big"}) \quad (6)$$

gilt, weist „NOT Big“ unterhalb der Schranke immer einen Zugehörigkeitswert von 1 auf. Die Regel stellt das zweite Gegenstück zu den beiden ersten CC-Handover-Regeln dar.

5. WENN Geschwindigkeit-CC-Kandidat = NOT „Small“

DANN CC-Handover = „nein“.

5 Diese Regel ist ein weiteres (optionales) Gegenstück zu den ersten beiden CC-Handover Regeln. Wenn die Geschwindigkeit des CC-Kandidaten nicht klein ist, sollte dieser nicht zum CC gemacht werden, um die Topologie nicht zu instabilisieren.

- 10 6. WENN Pegel-CC-Kandidat = NOT („MEDIUM BIG“ OR „BIG“) DANN
CC-Handover = „nein“

Diese Regel ist das letzte Gegenstück zur Regel 1. Die Regel greift nicht, wenn sich der CC-Kandidat nicht in der Nähe des alten CC befindet.

- 15 7. WENN Pegel-CC-Kandidat-zu-Nachbar-CCs = NOT „SMALL“
DANN CC-Handover = „nein“.

Diese Regel ist das letzte Gegenstück zur Regel 2. Die Regel greift nicht, wenn sich der CC-Kandidat in der Nähe anderer CCs befindet.

- 20 8. WENN Geschwindigkeit-CC = („Medium Big“ ODER „Big“) UND
Geschwindigkeit-CC-Kandidaten = „Small“

DANN CC-Handover = „ja“ UND UNABDINGBAR = „nein“ UND CC-Handover-Ursache-Geschwindigkeit = „ja“.

25 Wenn es doch einmal vorkommen sollte, dass eine schnelle Station als CC agiert, dann sollte diese die CC-Funktion abgeben, sobald ein Kandidat mit kleiner Geschwindigkeit auftaucht. Diese Regel wird nur dann von den CCs angewendet, wenn die Geschwindigkeit prinzipiell mit als Kriterium berücksichtigt wird.

9. WENN Geschwindigkeit-CC = („Small“ ODER „Medium Small“ ODER „Medium“)

DANN CC-Handover = „vielleicht“.

5 Diese Regel deckt die Geschwindigkeitsbereiche des CC ab, die in der vorhergehenden Regel nicht behandelt wurden. Bezüglich der CC-Handover-Entscheidung soll die Regel keine Rolle spielen. Damit ist gemeint, dass ein CC-Handover durchgeführt werden soll, wenn diejenigen anderen Regeln, die einen CC-Handover fordern, am stärksten gefeuert haben, und dass der CC-Handover unterlassen werden soll, wenn die anderen Regeln einen CC-Handover eher verneinen. Die Regel wird nur dann von den CCs angewendet, wenn die Geschwindigkeit prinzipiell mit als Kriterium berücksichtigt wird.

10

10. WENN Geschwindigkeit-CC-Kandidaten = NOT „Small“

DANN CC-Handover = „nein“.

15 Wenn kein einziger CC-Kandidat mit kleiner Geschwindigkeit zur Verfügung steht, sollte auf einen CC-Handover immer verzichtet werden. Diese Regel stellt das zweite Gegenstück zur Regel 8. dar. Die Regel wird ebenfalls nur dann von den CCs angewendet, wenn die Geschwindigkeit prinzipiell mit als Kriterium berücksichtigt wird.

20

Die CC-Regelbasis beinhaltet neben den CC-Handover Regeln, die auf der RSS-Mittelwert-Differenz basieren, auch ansonsten völlig analoge CC-Handover Regeln auf Basis der In-Cluster-Verkehrsdifferenz und der Konnektivitätsdifferenz zwischen CC-Kandidat und aktuellem CC, die jedoch nicht im Detail erläutert werden sollen.

25 An dieser Stelle zeigt sich der Vorteil einer unscharfen Regelformulierung, die ermöglicht, dass mehrere verschiedene Kriterien zu einer Gesamtentscheidung kombiniert werden können.

Beispiel 4

Die letzte Gruppe von Regeln der CC-Regelbasis betrifft die WT-Handover. Es
5 handelt sich dabei um CC-initiierte WT-Handover. Diese Handover sind rein zur
Optimierung der Netzressourcen gedacht und dürfen deshalb nicht für FTs durch-
geführt werden, weil deren Stabilität ein wichtigeres Ziel als die Optimierung des
Netzes darstellt.

- 10 1. WENN Verkehr-CC = „Big“ UND Verkehr-Nachbar-CCs = „Small“ UND
„WT-versorgt“
DANN WT-Handover = „ja“ UND UNABDINGBAR = „nein“ UND WT-
Handover-Ursache-Verkehr = „ja“.
- 15 In dieser Regel wird der Fall behandelt, dass der Verkehr innerhalb des Clusters
zwar sehr hoch ist, es jedoch wenigstens ein Nachbarcluster gibt, in dem eine
geringe Verkehrsbelastung vorherrscht. In einem solchen Fall sollte kein neues
Cluster eröffnet, sondern stattdessen versucht werden, WTs des eigenen Clusters
in das Nachbarcluster zu übergeben. Dies setzt allerdings voraus, dass ein für
den Handover in Frage kommendes WT auch von dem betreffenden
- 20 Nachbarcluster aufgenommen werden kann. Die Variable „WT-versorgt“ fragt
dies ab. Es handelt sich bei der Variablen um eine scharfe, binäre Variable, die
ähnlich wie die Variable „WTs-versorgt“ einen hinreichenden Pegel und eine
hinreichende Kapazität des Nachbar-Clusters abprüft. Der einzige Unterschied
der Variablen „WT-versorgt“ zu der Variablen „WTs-versorgt“ besteht darin,
- 25 dass durch erstere die Versorgung eines bestimmten WT überprüft wird. Sind
die Bedingungen bezüglich dieses WT erfüllt, wird es in das Nachbar-Cluster
übergeben. Die Anwendung der Regel sollte derart vonstatten gehen, dass bei
jedem Regelaufruf zunächst die beiden ersten Bedingungen überprüft werden.
Nur falls diese mindestens zu einem bestimmten, vorher festzulegenden Grad

erfüllt sind, sollte anschließend die dritte Bedingung für jedes einzelne WT des Clusters überprüft werden. Wie gesagt, kommen FTs aufgrund ihrer wichtigen Rolle nicht für eine Übergabe in ein anderes Cluster in Frage. Der veranlaßte WT-Handover wird nicht als unabdingbar angesehen.

5

2. WENN Verkehr-CC = NOT „Big“ DANN WT-Handover = „nein“.

Diese Regel ist das erste Gegenstück zur vorhergehenden Regel und besagt, dass ein WT-Handover nicht notwendig ist, wenn der Verkehr im eigenen Cluster nicht groß ist.

10

3. WENN Verkehr-Nachbar-CCs = NOT „Small“ DANN WT-Handover = „nein“.

Diese Regel ist das zweite Gegenstück zur ersten Regel und besagt, dass kein WT-Handover durchgeführt werden sollte, wenn es kein anderes Cluster gibt, in dem ein kleiner Verkehr vorherrscht. In diesem Fall wird stattdessen ein neues Cluster erzeugt (vgl. CC-Creation Regeln).

15

Beispiel 5

Es wird nun eine beispielhafte WT-Regelbasis behandelt. Folgende Regeln beziehen sich auf die Frage, ob das WT sich selbst zu einem CC machen sollte:

20

1. WENN Pegel-CC = „Small“ UND Pegel-Nachbar-CCs = „Small“ DANN CC-Creation = „ja“ UND UNABDINGBAR = „ja“ UND CC-Creation-Ursache-Pegel = „ja“.

25

Diese Regel garantiert, dass jede Station einem Cluster zugeordnet wird. Unabhängig davon, ob eine Station zuvor einem Cluster zugeordnet war oder nicht, eröffnet die Station gemäß dieser Regel ein neues Cluster, wenn alle CCs nur mit einem sehr schwachen Pegel empfangen werden oder gar kein CC in Reichweite ist. Die Bildung eines neuen Clusters ist hier als unabdingbar

anzusehen. Die Regel wird von allen WT's sowie von all denjenigen Stationen ausgeführt, die noch gar keinem Cluster zugeordnet sind.

2. WENN Pegel-CC = NOT „Small“ DANN CC-Creation = „nein“.
5 Diese Regel ist das erste Gegenstück zur vorherigen Regel.
3. WENN Pegel-Nachbar-CCs = NOT „Small“ DANN CC-Creation = „nein“
Wenn wenigstens ein Nachbar-CC mit einem Pegelniveau von „Medium Small“
oder größer empfangen wird, sollte kein zusätzliches Cluster gebildet werden.

10

Beispiel 6

Im folgenden werden Regeln bezüglich des Clusterwechsels eines Objektes, bzw. WT-Handovers aufgestellt.

15

1. WENN Pegel-CC = „Small“ UND Pegel-Nachbar-CCs = („Medium“ ODER „Medium Big“ ODER „Big“) DANN WT-Handover = „ja“ UND UNABDINGBAR = „ja“ UND WT-Handover-Ursache-Pegel = „ja“.
Wenn der eigene CC nur schwach empfangen wird, gleichzeitig aber ein anderer
20 CC einen wenigstens mittleren Pegel liefert, sollte ein Handover zu diesem Nachbar-CC eingeleitet werden. Der Handover wird als unabdingbar angesehen, weil aufgrund des schwachen Pegels ein Zusammenbruch der Verbindung mit dem bisherigen CC droht.
- 25 2. WENN Pegel-CC = NOT „Small“ DANN WT-Handover = „nein“.
Wenn der Pegel des eigenen CC nicht klein ist, sollte kein Handover eingeleitet werden.

3. WENN Pegel-Nachbar-CCs = („Small“ ODER „Medium Small“)

DANN WT-Handover = „nein“.

5 Diese Regel ist das zweite Gegenstück zur ersten Regel. Sie behandelt den Fall, dass alle Nachbar-CCs mit höchstens mittelkleinem Pegel empfangen werden. In diesem Fall macht ein Handover des Terminals zu keinem der Nachbar-CCs Sinn.

- 10 4. WENN PER-CC = „Big“ UND PER-Nachbar-CCs = „Small“ DANN WT-Handover = „ja“ UND UNABDINGBAR = „ja“ UND WT-Handover-Ursache-
PER = „ja“.

15 Wenn die PER, mit der der eigene CC empfangen wird, groß ist, und gleichzeitig ein anderer CC mit kleiner PER empfangen wird, sollte ein Handover zu diesem CC eingeleitet werden. Der Handover wird als unabdingbar angesehen, weil ein Zusammenbruch der Verbindung droht.

5. WENN PER-CC = NOT „Big“ DANN WT-Handover = „nein“.

20 Wenn der eigene CC nicht mit einer hohen PER empfangen wird, erscheint ein Terminal-Handover unnötig. Die Regel ist das erste Gegenstück zur vorherigen Regel 4.

6. WENN PER-Nachbar-CCs = NOT „Small“ DANN WT-Handover = „nein“.

25 Wenn es keinen Nachbar-CC gibt, der mit kleiner PER empfangen wird, macht es keinen Sinn einen Handover einzuleiten. Dies gilt unabhängig davon, ob die Empfangssituation im eigenen Cluster ebenfalls schlecht ist. In letzterem Fall greifen die Regeln zur Clusterbildung.

7. WENN Pegel-CC = („Small“ ODER „Medium Small“ ODER „Medium“) UND Pegeldifferenz = „Big“ DANN WT-Handover = „ja“ UND UNABDINGBAR = „nein“ UND WT-Handover-Ursache-Pegeldifferenz = „ja“.

5 Diese Regel behandelt den Fall eines Handover, der sich aufgrund eines gegenüber dem eigenen CC wesentlich stärker zu empfangenden Nachbar-CC anbietet. Die Regel kann selbst dann greifen, wenn der eigene CC einen mittleren Pegel liefert. Selbstverständlich ist ein solcher WT-Handover nicht unabdingbar.

- 10 8. WENN Pegel-CC = („Small“ ODER „Medium Small“ ODER „Medium“) UND Pegeldifferenz = NOT „Big“ DANN WT-Handover = „nein“.

15 Diese Regel ist das Gegenstück zur vorhergehenden Regel 7. und besagt, dass kein WT-Handover eingeleitet werden sollte, wenn keine große Pegeldifferenz vorliegt. Die Fälle, dass der Pegel des eigenen CC „Medium Big“ oder „Big“ ist, werden bereits durch die auf WT-Handover bezogene Regel 2 abgedeckt. Die beiden letzten Regeln verwenden als Handoverkriterium die Pegeldifferenz zwischen dem besten Nachbar-CC und dem eigenen CC. Dabei ist zu beachten, dass immer die gleitenden Mittelwerte der Pegel betrachtet werden, um stochastische Einflüsse auszuschließen. Von G. Edwards, A. Kandel und S. Ravi, „Fuzzy handoff algorithms for wireless communication“, Fuzzy Sets and Systems, Band 110, Seiten 379-388, 2000, ist ein Terminal-Handover-Algorithmus vorgeschlagen worden, der eine Fuzzy-Mittelung der Pegeldifferenzen vornimmt. Die Fuzzy-Mittelung der Pegeldifferenz „Delta RSS“ wird dabei folgendermaßen berechnet:

25

$$\mu(\Delta RSS_n) = \max(0, \mu(\Delta RSS_{n-1}) + \mu_N(\Delta RSS_n) - \mu_A(\Delta RSS_n)) \quad (7)$$

$\mu(\Delta RSS_n)$ stellt das Entscheidungskriterium für den Terminal-Handover dar. Wenn dieser Wert die Schwelle von 3,0 überschreitet, wird ein Handover zu der

5 betreffenden Nachbarzelle ausgelöst. $\mu_A(\Delta RSS_n)$ und $\mu_N(\Delta RSS_n)$ stellen die Zugehörigkeiten zu zwei unscharfen Mengen „Akzeptabel“ und „Nicht Akzeptabel“ dar wie in Figur 5 dargestellt. Anhand von Gleichung (6) wird gemessen, wie oft die Pegeldifferenz hintereinander einen nicht akzeptablen Wert aufweist.

Das Terminal-Handover-Kriterium von G. Edwards et al. (s.o.) könnte anstelle der beiden letzten Regeln verwendet werden.

- 10 Zusammenfassend läßt sich festhalten, dass einige der Regeln zur Bildung eines neuen Clusters von CCs und andere von WT's angewendet werden. Die Regeln zur Auflösung eines Clusters werden immer von einem CC ausgeführt. Dies entspricht der Tatsache, dass nur der CC selbst darüber entscheiden sollte, ob er die CC-Funktion aufgibt oder nicht. Die Regeln bezüglich einer Clusterverschiebung bzw. eines CC-Handover
- 15 werden ebenfalls nur von CCs angewendet. Auch hier entscheidet ein CC selbst, ob er die CC-Funktion an eine andere Station übergibt.

- Die Regeln, die den WT-Handover betreffen, werden größtenteils von den WT's selbst verwaltet. Bei diesen WT-Handovers handelt es sich um Terminal-initiierte Handover.
- 20 Es wird jedoch auch ein CC-initiiertes WT-Handover vorgeschlagen, für den zugehörige Regeln in den CCs verwaltet werden.

- Jede der genannten Regeln kann zusätzlich mittels des aus klassischen Expertensystemen bekannten Konzepts der Certainty-Faktoren gewichtet werden. Die als
- 25 Ergebnis der Inferenz bestimmte Ausgangszugehörigkeitsfunktion einer Regel wird mit dem Certainty-Faktor der Regel multipliziert. Der Certainty-Faktor kann beispielsweise zwischen 0 und 1 liegen. Bevorzugt ist es, allen Regeln dasselbe Gewicht zu geben.

Nachdem die Ein- und Ausgangsgrößen der Regeln sowie die Regeln selbst festgelegt worden sind, muss über die Funktionsweise der Inferenzmaschine entschieden werden. Im wesentlichen betrifft diese Entscheidung die Wahl der zu verwendenden Operatoren. Dabei müssen der Operator zur Verknüpfung der Voraussetzungen einer Regel, 5 der Implikationsoperator zur Skalierung der Ausgangsgrößen sowie der Operator zur Aggregation der Regeln definiert werden. Es wurde außerdem bereits erwähnt, dass ein Negationsoperator gemäß Definition als Komplement angenommen wurde. Für die ODER-Verknüpfung wurde die arithmetische Summe gewählt.

- 10 Wie bei den meisten Fuzzy-Control-Systemen üblich, soll eine Einzel-Regel-basierte Inferenz vorgenommen werden. Dabei stellt sich zunächst die Frage nach der Aggregation der Voraussetzungen einer Regel. Meist wird zu diesem Zweck der Minimum-Operator verwendet. Eine Begründung ist, dass eine Regel maximal zu dem Grad anwendbar ist, der dem Erfüllungsgrad der am wenigsten zutreffenden Voraussetzung 15 der Regel entspricht. Es sollte jedoch an dieser Stelle bewußt gemacht werden, dass diese Faustregel von allen T-Normen erfüllt wird, da wie in gezeigt wurde, der Minimum-Operator oberhalb aller anderen T-Normen abbildet. D.h. dass mit dem Minimum-Operator derjenige Operator gewählt wird, der die Faustregel gerade noch erfüllt, der aber gleichzeitig den Erfüllungsgrad maximiert, indem keine Verknüpfung 20 der Voraussetzungen vorgenommen wird. Für das hier entwickelte Verfahren erscheint diese Charakteristik des Minimum-Operators als sinnvoll, so dass dieser Operator zur Aggregation der Voraussetzungen gewählt wird. Wichtig für den betrachteten Fall ist, dass bei Verwendung des Minimum-Operators scharfe Bedingungen berücksichtigt werden können. Unter einer scharfen Bedingung wird dabei ein Erfüllungsgrad aus der 25 Menge $\{0,1\}$ verstanden. Wenn eine scharfe Bedingung nicht erfüllt ist, garantiert der Minimum-Operator (wie jede beliebige T-Norm), dass der resultierende Erfüllungsgrad der gesamten Regel ebenfalls 0 ist.

Der nächste zu wählende Operator betrifft die Art der Implikation. Im Rahmen der Fuzzy Control kommt in den meisten Systemen mit Regeln vom Mamdani-Typ einer der beiden folgenden Operatoren zum Einsatz:

- 5 ♦ Mamdani-Inferenz: $\mu_M(y) = \min(\mu(x^*), \mu(y))$ (8)
 ♦ Skalierte-Inferenz: $\mu_S(y) = \mu(x^*) \cdot \mu(y)$

Mit wird hier der Erfüllungsgrad der Voraussetzungen bei einem konkreten Eingabevektor x^* bezeichnet. Bei Verwendung des Minimum-Operators zur
10 Aggregation der Voraussetzungen ergibt sich:

$$\begin{aligned}\mu_M(y) &= \min(\mu(x_1^*), \dots, \mu(x_p^*), \mu(y)) \\ \mu_S(y) &= \mu(x_1^*) \cdot \dots \cdot \mu(x_p^*) \cdot \mu(y)\end{aligned}\quad (9)$$

- 15 Figur 6 verdeutlicht die beiden Inferenzoperationen graphisch anhand eines Beispiels mit einer Eingangsvariablen. Es wird deutlich, warum die Mamdani-Implikation auch als Abschneiden bzw. Clipping bezeichnet wird.

- Bevorzugt wird bei dieser Erfindung die Skalierte-Inferenz gewählt, da diese die
20 rechentechnisch schnellere Operation darstellt.

- Schließlich müssen die aus den Regeln resultierenden Zugehörigkeitsfunktionen der Ausgangsvariablen zu einer Zugehörigkeitsfunktion pro Ausgangsvariable aggregiert werden. Die Aggregation der Regeln kann im betrachteten Fall für jede Clustering-
25 maßnahme getrennt vorgenommen werden, da die Regeln ausnahmslos in MISO-Form formuliert sind. Es muss allerdings außerdem beachtet werden, dass bei dezentraler Ausführung der Regeln nur diejenigen Regeln aggregiert werden können, die auch an derselben Stelle bzw. von derselben Station verwaltet werden. Dies bedeutet, dass die

Regeln in der CC-Regelbasis von allen CCs aggregiert werden, während die WTs alle Regeln der WT-Regelbasis auswerten. Als Aggregationsoperatoren der Zugehörigkeitsfunktionen bieten sich alle S-Normen an. Der klassische Zadehsche Vereinigungsoperator ist der Maximum-Operator. Der Maximum-Operator bildet unterhalb aller anderen S-Normen ab. Die Entscheidung über die Wahl des Aggregationsoperators hängt eng zusammen mit der Wahl des Defuzzifizierungsoperators. Deshalb soll diese Entscheidung gemeinsam mit der Wahl des Defuzzifizierungsoperators gefällt werden. Zu den gebräuchlichsten Operatoren zählen die Center-of-Sums- sowie die Center-of-Area-Methode, die Kriterien wie Kontinuität, Eindeutigkeit, Plausibilität, Recheneffizienz und Mehrfachzählung erfüllen. Unter Mehrfachzählung verstehen die Autoren die Anforderung, dass eine Defuzzifizierungsregel berücksichtigen sollte, ob ein linguistischer Ausgangswert mehrfach, d.h. von verschiedenen Regeln, ausgegeben wurde. In den Figuren 7 und 8 wird der Unterschied zwischen der Center-of-Area und der Center-of-Sums Methode verdeutlicht.

Bei der Center-of-Area-Methode werden die einzelnen Zugehörigkeitsfunktionen mittels des Maximum-Operators aggregiert und anschließend wird der Ausgangswert als Schwerpunkt der resultierenden Zugehörigkeitsfunktion bestimmt.

Figur 8 deutet mit der dunkelgrauen Einfärbung des Überlappungsbereiches an, dass bei der Center-of-Sums Methode die arithmetische Summe als Aggregationsoperator verwendet wird, wodurch der dunkle Bereich gegenüber der Center-of-Area Methode doppelt gerechnet wird.

Für die Erfindung wird die Center-of-Area Regel als Aggregations- und Defuzzifizierungsmethode gewählt. Die Methode hat die sinnvolle Eigenschaft, dass alle Regeln mit einem Erfüllungsgrad größer als null die Ausgangsentscheidung beeinflussen.

Mathematisch lautet die Center-of-Area-Aggregations- und Defuzzifizierungsregel im diskreten Fall:

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^L y_l \sum_{r=1}^R \mu_{s(r)}(y_l)}{\sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \mu_{s(r)}(y_l)} \quad (9)$$

5

Im Fall kontinuierlicher Zugehörigkeitsfunktionen gilt:

$$y^* = \frac{\int y \cdot \sum_{r=1}^R \mu_{s(r)}(y) dy}{\int \sum_{r=1}^R \mu_{s(r)}(y) dy} \quad (10)$$

- 10 In den Formeln stellt $\mu_{s(r)}(y_l)$ die skalierte Zugehörigkeitsfunktion der Ausgangsvariablen in der r-ten Regel im Punkt y_l dar. Auf die Verwendung der Skalierten-Inferenz} wurde bereits zuvor eingegangen. Mit R wurde in den Formeln die Anzahl der bezüglich dieser Ausgangsvariablen verwalteten Regeln bezeichnet.
- 15 Es soll bezüglich jeder der vier nicht FT-bezogenen Clusteringmaßnahmen eine Entscheidung gefällt werden, ob die Maßnahme durchgeführt wird oder nicht. Aufgrund der Symmetrie der gewählten Zugehörigkeitsfunktionen in Figur 4, könnte beispielsweise der Wert $y^* = 0.5$ als Entscheidungsgrenze festgelegt werden. Wenn der defuzzifizierte Wert oberhalb dieser Grenze liegt, wird die Topologieveränderung
- 20 durchgeführt, wenn er unterhalb des Grenzwertes liegt, wird die Veränderung nicht vorgenommen. Durch Verschiebung des Schwellenwertes in Richtung größerer (bzw. kleinerer) Werte kann erreicht werden, dass „vielleicht“ Empfehlungen eher zu einer „nein-Entscheidung“ (bzw. „ja-Entscheidung“) beitragen.
- 25 Die Entscheidungsfindung mittels des Schwellenwertes wird ebenfalls für die Ausgangsgröße verwendet, die angibt, ob die Clusteringmaßnahme unabdingbar ist oder

nicht. Bezüglich der Ausgangsgrößen, die die Ursache der Topologieveränderung festhalten, wird diejenige Ursache ausgewählt, die den maximalen Zugehörigkeitsgrad zur Zugehörigkeitsfunktion „ja“ besitzt.

- 5 Bezüglich der FT-bezogenen Topologieveränderungen sind keine Regeln formuliert, da zur Auswahl der FTs ein spezieller Algorithmus entwickelt worden ist, der Gegenstand der DE 100 53 854.1 ist. In seiner verteilten Version kann der Algorithmus von den CCs ausgeführt und dazu benutzt werden, das Auslösen von FT-Creation und FT-Handover Ereignissen zu steuern. FT-Deletion Ereignisse werden von den FTs selbst
- 10 ausgelöst, und zwar dann, wenn ein FT einen der beiden verbundenen CCs nicht mehr mit ausreichendem Pegel empfängt. In einem solchen Fall versucht das FT zunächst, ein anderes WT zu finden, dass die FT-Funktion übernehmen könnte. Ist jedoch kein geeigneter Kandidat in Reichweite, muss die Station zwangsläufig die FT-Funktion
- 15 aufgeben.

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Organisieren der Topologie eines Netzwerkes mit einer Vielzahl von Stationen, die in Cluster gruppiert sind,
5 mit den Schritten:

Bereitstellen eines Systems von Regeln, welche die Anordnung von Stationen in Cluster definieren,

10 Klassifizieren der Stationen in eine oder mehrere Klassen gemäß den Regeln und Anordnen der Stationen in Cluster aufgrund der Klassifizierung;

Erfassen von die Topologie des Netzwerkes beeinflussenden Änderungen;

15 Anpassen zumindest der Anordnung der Stationen in Cluster aufgrund der Änderungen unter Beachtung der Regeln;

dadurch gekennzeichnet,
dass
20 eine Mehrzahl zulässiger Topologieveränderungen des Netzwerkes vordefiniert wird; wenigstens eine der Eingangsvariablen für die Regeln nach der Fuzzy Logic, dualer Logik oder anderer Logik codiert wird; und

wenigstens eine der Regeln aus codierten Eingangsvariablen abhängig von den die
25 Topologie des Netzwerkes beeinflussenden Änderungen mindestens eine Ausgangsvariable erzeugt;

wobei jede dieser Ausgangsvariablen eine Entscheidungsvariable für eine vorzunehmende zulässige Topologieveränderung des Netzwerkes ist.
30

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens eine Eingangsvariable fuzzifiziert wird.
- 5 3. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Topologieveränderung des Netzwerkes
- das Erzeugen eines Clusters
 - das Auslösen eines Clusters
 - 10 - das Verschieben eines Clusters oder
 - der Clusterwechsel einer Station ist,
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass die fuzzifizierte Eingangsvariable eine linguistische Variable ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens eine der Regeln vom Mamdani-Typ ist.
- 20 6. Netzwerk mit einer Vielzahl von Stationen, die in Cluster gruppiert sind, mit
- einer Speichereinrichtung in mindestens einer der Stationen, in der ein System von
Regeln abgelegt ist, welche die Anordnung von Stationen in Cluster definieren,
- 25 einer Einrichtung zum Klassifizieren der Stationen in eine oder mehrere Klassen
gemäß den Regeln und Anordnen der Stationen in Cluster aufgrund der
Klassifizierung;
- 30 einer Einrichtung zum Erfassen von die Topologie des Netzwerkes beeinflussenden
Änderungen; und

einer Einrichtung zum Anpassen zumindest der Anordnung der Stationen in Cluster aufgrund der Änderungen unter Beachtung der Regeln;

5 dadurch gekennzeichnet,
dass
in der Speichereinrichtung eine Mehrzahl zulässiger Topologieveränderungen des Netzwerks gespeichert ist;

10 eine Einrichtung zum Codieren wenigstens einer der Eingangsvariablen für die Regeln nach der Fuzzy Logic, dualer Logik oder anderer Logik vorgesehen ist,
wobei wenigstens eine der Regeln aus codierten Eingangsvariablen abhängig von den die Topologie des Netzwerks beeinflussenden Änderungen mindestens eine
15 Ausgangsvariable erzeugt und jede dieser Ausgangsvariablen eine Entscheidungsvariable für eine vorzunehmende zulässige Topologieveränderung des Netzwerks ist.

7. Netzwerk nach Anspruch 6,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass die Einrichtung zum Codieren mit der Fuzzy Logic arbeitet.

8. Netzwerk nach Anspruch 6,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass jedes Cluster ein zentralen Controller aufweist, der eine Station des Netzwerkes ist, wobei der Controller zumindest die seine Existenz und/oder Funktion betreffenden Topologieveränderungen selbst ausführt.

30

9. Netzwerk nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindest eine Station als Forwarder vorgesehen ist, das an der
Kommunikation zweier Cluster teilnimmt, wobei das Netzwerk als zusätzliche
5 Topologieveränderungen
- Erzeugen eines Forwarders;
 - Löschen eines Forwarders;
 - Übergabe der Forwarder-Funktion an eine andere Station
- zulässt.
- 10
10. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 in der
klassischen Datenanalyse, wobei die Stationen die Objekte der Datenanalyse sind.
- 15

PHDE020084

ZUSAMMENFASSUNG

Verfahren zum Organisieren der Topologie eines Netzwerkes mit einer Vielzahl von Stationen, die in Cluster gruppiert sind

Ein Verfahren zum Organisieren der Topologie eines Netzwerkes mit einer Vielzahl von
5 Stationen, die in Cluster gruppiert sind, mit den Schritten:

Bereitstellen eines Systems von Regeln, welche die Anordnung von Stationen in Cluster definieren,

10 Klassifizieren der Stationen in eine oder mehrere Klassen gemäß den Regeln und Anordnen der Stationen in Cluster aufgrund der Klassifizierung;

Erfassen von die Topologie des Netzwerkes beeinflussenden Änderungen;

15 Anpassen zumindest der Anordnung der Stationen in Cluster aufgrund der Änderungen unter Beachtung der Regeln;

ist dadurch gekennzeichnet, dass

20 eine Mehrzahl zulässiger Topologieveränderungen des Netzwerkes vordefiniert wird;

wenigstens eine der Eingangsvariablen für die Regeln nach der Fuzzy Logic, dualer Logik oder anderer Logik codiert wird; und

25 wenigstens eine der Regeln aus codierten Eingangsvariablen abhängig von den die Topologie des Netzwerkes beeinflussenden Änderungen mindestens eine Ausgangsvariable erzeugt;

30 wobei jede dieser Ausgangsvariablen eine Entscheidungsvariable für eine vorzunehmende zulässige Topologieveränderung des Netzwerkes ist.

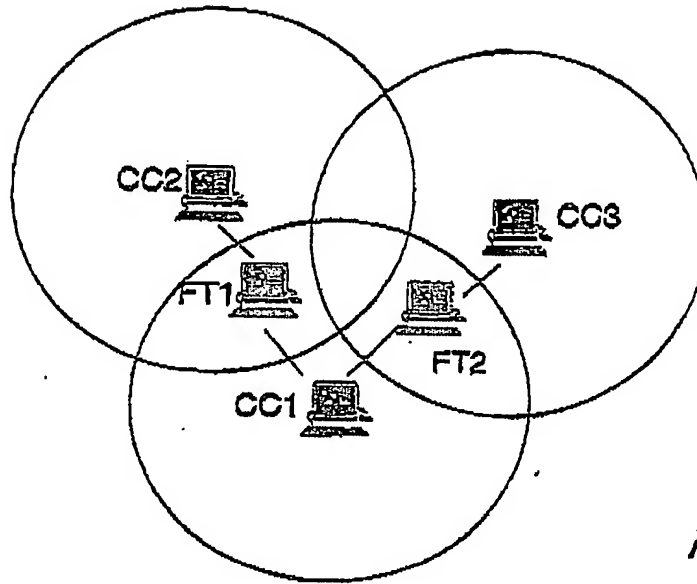


Fig. 1

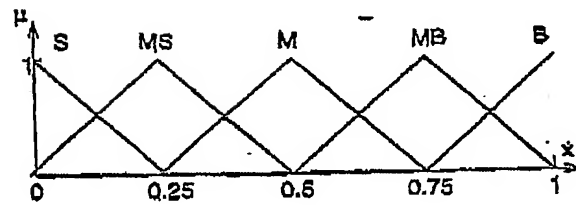


Fig. 2

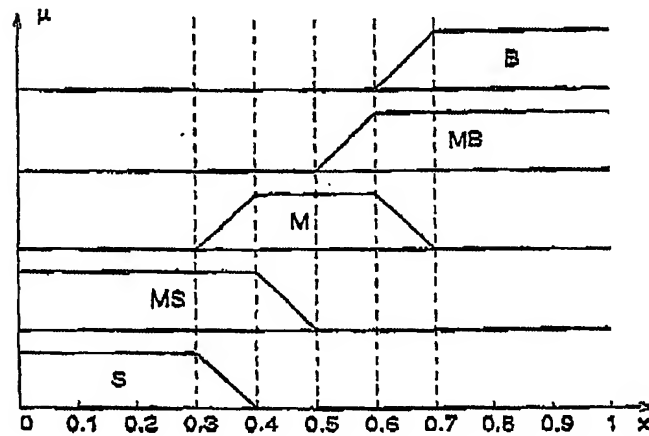


Fig. 3

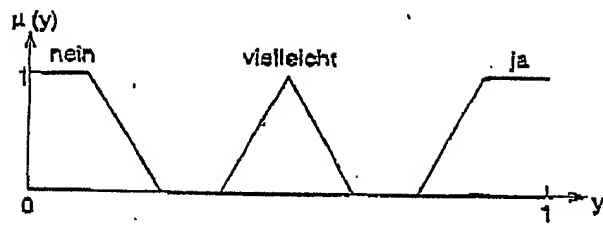


Fig. 4

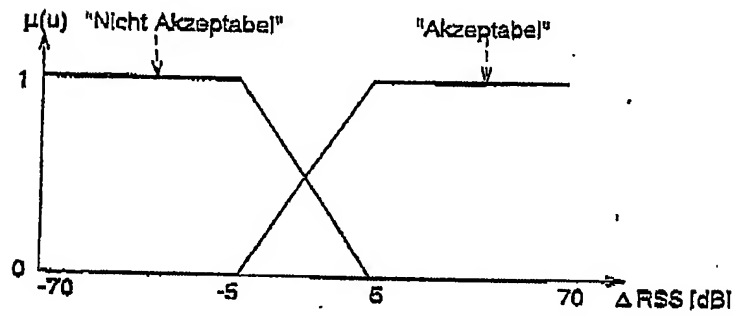


Fig. 5

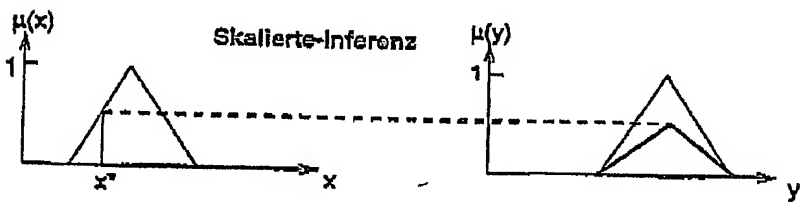
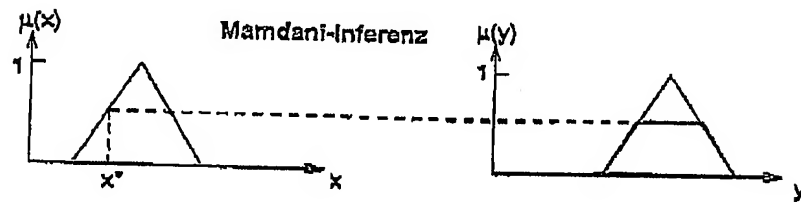


Fig. 6

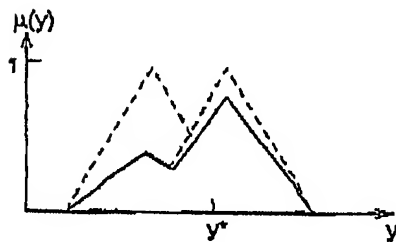


Fig. 7

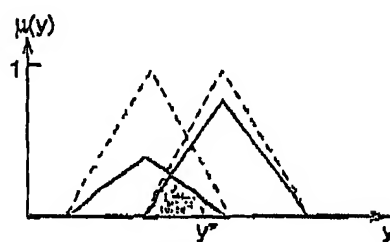


Fig. 8